



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Esquemas de inversión para la micro generación fotovoltaica de energía eléctrica en el sector residencial colombiano

Jhoan Sebastian Grajales Perea

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2016

Esquemas de inversión para la micro generación fotovoltaica de energía eléctrica en el sector residencial colombiano

Jhoan Sebastian Grajales Perea

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería - Sistemas Energéticos

Director:

Ph.D. Carlos Jaime Franco Cardona

Codirectora:

M.Sc. Mónica Castañeda Riascos

Línea de Investigación:

Política y Estrategia

Grupo de Investigación:

Sistemas Energéticos

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ciencias de la Computación y de la Decisión

Medellín, Colombia

2016

*A mi madre por inspirarme la tenacidad,
enseñarme a luchar por mis sueños a partir de
su ejemplo y por el apoyo recibido en cada
proyecto que emprendo.*

Agradecimientos

A Carlos Jaime Franco Cardona, director de este trabajo, por su acompañamiento, asesoría y enseñanzas durante la duración de la maestría.

A Mónica Castañeda Riascos, codirectora, por sus importantes aportes y alta disposición para que todo saliera bien.

Y, por último, pero no menos importante, a la Universidad Nacional de Colombia y a los profesores que he tenido a lo largo de estos doce años de desarrollo académico, porque con su aporte me han logrado formar un profesional íntegro e idóneo para la vida y me han hecho sentir orgulloso de ser parte de la institución.

Resumen

A lo largo de la historia, el aprovechamiento de la energía eléctrica ha sido clave en el desarrollo económico de los países, fomentando los procesos productivos y contribuyendo a la satisfacción de las necesidades básicas de las poblaciones; sin embargo, la producción de energía a partir de combustibles fósiles, que han dominado los mercados de manera general, ha contribuido al cambio climático; adicionalmente, la estabilidad de los sistemas energéticos se ha puesto en riesgo debido a dependencia de fuentes hídricas en algunos países latinoamericanos como Colombia, que resultan vulnerables a fenómenos de la naturaleza. Esta situación ha generado que gobiernos alrededor del mundo implementen políticas que favorecen las energías renovables; propiciando un nuevo ambiente de negocios, forjando consigo nuevos actores y estrategias de mercado. Las fuentes de energía renovables no sólo ayudan a mitigar el cambio climático, sino que su desarrollo plantea un cambio drástico en la manera como se genera y consume la energía en el paradigma de la industria eléctrica. Este trabajo de investigación presenta las oportunidades que ofrecen las energías renovables, en particular la solar fotovoltaica, para la autogeneración de electricidad en el sector residencial. Para ello, se referencian los países con el mayor índice de desarrollo de fuentes no convencionales, se caracterizan los modelos de negocio y mecanismos de financiación emergentes y finalmente se presentan propuestas para promover la implementación de incentivos que faciliten su aplicación en Colombia, de modo que provoquen que tanto clientes como emprendedores encuentren una nueva oportunidad de inversión en los mercados energéticos.

Palabras clave: Energía solar fotovoltaica, Autogeneración, Modelos de negocio, Mecanismos de financiación, Incentivos.

Abstract

Along the history, the use of electricity has been a key factor in the economic development of countries around the world, encouraging productive processes and promoting the satisfaction of people's basic needs; nevertheless, fossil fuel based energy generation technologies, which has dominated the markets in general, has contributed with the climate change; further, the energy systems' stability has been in risk owing to high dependencies from hydro power in some Latin-American nations, like Colombia, resulting into vulnerability due to natural phenomena, like El Niño in Pacific South Latin-American. This situation has generated that governments around the world implement renewable friendly policies; promoting a new business environment, forging itself with new agents and market strategies. Renewable energy, not only help mitigating the climate change, but also set a drastic change in the way the energy is produced and consumed in the paradigm of the electrical industry. This research work shows the opportunities offered by renewable energy, particularly Solar PV, for the electricity self-generation in residential customers. Along the work, countries with the highest indexes of development in renewables are referenced, business and financing models are characterized, finally some proposals to promote incentives' implementation to ease their enforcement in Colombia are presented, causing that both, customers and entrepreneurs find an investment opportunity in the energy markets.

Keywords: Solar PV, Self-generating, Business models, Financing sources, Incentives.

Contenido

	Pág.
Capítulo 1. Introducción.....	17
Capítulo 2. Antecedentes	21
2.1 Barreras	21
2.2 Oportunidades.....	23
2.2.1 Instrumentos económicos comunes para el incentivo de energías renovables.....	23
2.2.2 Medición bidireccional.....	24
2.3 Caso Colombia.....	25
2.3.1 Incentivos para la inversión	29
2.3.2 Viabilidad de un proyecto de autogeneración mediante energía solar fotovoltaica con los instrumentos actuales (Ley 1715 de 2014)	29
2.4 Caso Estados Unidos	31
Capítulo 3. Marco teórico	34
3.1 Autogeneración y cogeneración en Colombia	35
3.2 Fuentes de energía renovable en Colombia	36
3.3 Razones para implementar energías renovables y generación distribuida	38
3.4 Energía solar fotovoltaica	40
Capítulo 4. Objetivos	43
4.1 Objetivo general	43
4.2 Objetivos específicos	43
Capítulo 5. Países de referencia	45
5.1 Alemania	46
5.1.1 Caso DZ-4	48

5.2	Estados Unidos.....	49
5.2.1	Investment Tax Credit (ITC)	50
5.2.2	Modified Accelerated Cost Recovery System (MACRS)	51
5.2.3	Medición neta (Net Metering)	52
5.2.4	Solar-as-a-service	53
5.2.5	Caso SolarCity	55
5.3	Japón.....	56
5.4	Italia	57
5.5	Tailandia	58
5.5.1	Roof rental.....	58
5.5.2	Comunidades solares.....	59
5.6	Australia.....	59
5.6.1	Empresas de energía solar en Australia	61
Capítulo 6.	Caracterización de esquemas de inversión	64
6.1	Modelos de negocio	64
6.1.1	Suministro de sistemas de generación solar	68
6.1.2	Leasing solar.....	70
6.1.3	Power Purchase Agreements de energía solar.....	71
6.1.4	Rent-the-space.....	73
6.1.5	Comunidades solares.....	75
6.2	Mecanismos de financiación	77
6.2.1	Self-financing	79
6.2.2	Feed-in-Tariff.....	79
6.2.3	Incentivos fiscales	80
6.2.4	Renewable Portfolio Standards	80
6.2.5	Third Party Financing	81
6.2.6	Utility & Public financing	81
6.2.7	Crowdfunding	82
Capítulo 7.	Conclusiones y recomendaciones.....	88
7.1	Conclusiones	88
7.2	Reporte del cumplimiento de los objetivos específicos.....	91
7.2.1	Objetivo 1	91

Contenido	XI
7.2.2 Objetivo 2	91
7.3 Recomendaciones.....	93
Referencias.....	96

Lista de figuras

	Pág.
Figura 3-1:	Composición fuentes de generación eléctrica en Colombia.....37
Figura 3-2:	Potencial eólico en Colombia.37
Figura 3-3:	Irradiación promedio en Colombia.....37
Figura 3-4:	Precio bolsa nacional 2015-2016.39
Figura 5-1:	Despliegue y empleo de la industria solar en Estados Unidos.....51
Figura 5-2:	Mapa de implementación de medición neta en Estados Unidos.53
Figura 6-1:	Modelo de negocio: Suministro de sistemas solares fotovoltaicos.....69
Figura 6-2:	Modelo de negocio: Leasing solar.70
Figura 6-3:	Modelo de negocio: Power Purchase Agreement solar.72
Figura 6-4:	Modelo de negocio: Rent-the-space solar.74
Figura 6-5:	Funcionamiento del PACE.82

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1: Barreras de ingreso a energía solar fotovoltaica.	22
Tabla 2-2: Regulaciones o actividades necesarias para dar aplicación a la Ley 1715 de 2014.	25
Tabla 2-3: ESCOS en Estados Unidos.....	32
Tabla 5-1: Opciones de Leasing solar DZ-4.	49
Tabla 5-2: Modelos de negocio SolarCity.....	55
Tabla 6-1: Modelos de negocio solar.....	67
Tabla 6-2: Principales mecanismos de financiación identificados.....	78
Tabla 6-3: Casos de Crowdfunding en energías renovables.	85

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
ACOLGEN	Asociación Colombiana de Generadores de Energía Eléctrica
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CREG	Comisión Reguladora de Energía y Gas
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EPC	Engineering, Procurement and Construction
EPIA	European Photovoltaic Industry Association
ESCO	Energy Service Companies
FiT	Feed-in Tariff
FNCE	Fuentes No Convencionales de Energía
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovable
GD	Generación Distribuida
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
IEA	International Energy Agency
ITC	Investment Tax Credit
IVA	Impuesto al Valor Agregado
LGC	Large scale Generation Certificates
LRET	Large-scale Renewable Energy Target
MACRS	Modified Accelerated Cost Recovery System
MTEP	Millones de Toneladas Equivalentes de Petróleo
NREAP	National Renewable Energy Action Plan
PACE	Property-Assessed Clean Energy Programs
PPA	Power Purchase Agreement
REC	Renewable Energy Certificates
RET	Renewable Energy Target
RETIE	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
RETIQ	Reglamento Técnico de Etiquetado
RPS	Renewable Portfolio Standards
SEIA	Solar Energy Industries Association
SIN	Sistema Interconectado Nacional
SRES	Small-scale Renewable Energy Scheme
STC	Small-scale Technology Certificates
TIR	Tasa Interna de Retorno
TPO	Third Party Ownership
TRM	Tasa Representativa de Mercado
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
ZNI	Zonas No Interconectadas

Capítulo 1. Introducción

La energía es base para el crecimiento económico, social y tecnológico de los países (Cano et al., 2013) y ha experimentado un aumento en su demanda a nivel mundial (Raineri et al., 2013), de la cual no es ajena Latinoamérica y particularmente Colombia. Además, existe una clara tendencia en el sector energético dirigida a reducir las emisiones de gases efecto invernadero provenientes de fuentes convencionales de generación (UPME & BID, 2015). Tendencia motivada por la alta volatilidad de precios de combustibles fósiles, el uso eficiente y racional de los recursos energéticos, la llegada de nuevos competidores y la necesidad de mayor confiabilidad y sostenibilidad en el suministro de energía eléctrica. Por lo tanto, es necesario buscar alternativas para afrontar los cambios que implican esta tendencia, permitiendo la solidez del mercado, garantizando competencia y mejorando continuamente procesos, que se vean finalmente reflejados en precios óptimos para los consumidores.

América latina, se ha caracterizado por contar con uno de los portafolios de generación de energía eléctrica más limpios del mundo (Raineri et al., 2013); en el caso de Colombia, este cuenta con una participación cercana al 80% de hidroelectricidad en grandes centrales de generación (XM, 2016). Sin embargo, ésta elevada participación hidráulica hace que el sistema eléctrico colombiano sea altamente vulnerable ante condiciones climáticas comunes en la región, como las sequías provocadas por el fenómeno del niño, que azota de manera cíclica y no periódica, los países del pacífico sur de América latina.

Dada su favorable posición geográfica, Colombia tiene alto potencial de recursos naturales como radiación solar, vientos, ríos, entre otros. Esta disponibilidad de recursos posibilitaría el desarrollo de las principales tecnologías de generación de energía renovables como la energía eólica, la cual cuenta con mapas de viento elaborados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). Por otro lado, la energía solar fotovoltaica sólo se ha visto aprovechada en pequeñas aplicaciones de arquitectura bioclimática debido a su alto costo

de inversión en el país, además esta tecnología se ha visto desplazada por la abundancia y percepción de seguridad que entregan las fuentes hídricas. No obstante, el gobierno colombiano ha mostrado interés en brindar incentivos y mecanismos que permitan el crecimiento de tecnologías no convencionales en el país, como los propuestos por el Congreso de la Republica de Colombia mediante la Ley 1715 de 2014 (Congreso de Colombia, 2014).

Con la Ley 1715 de 2014, el gobierno de Colombia planteó la necesidad de fomentar la reducción de impactos ambientales, el interés por las fuentes de energía renovables, la reducción del consumo energético y finalmente la necesidad de la generación distribuida como un complemento al Sistema de Interconexión Nacional (SIN) y acceso a la energía en Zonas no Interconectadas (ZNI) (Cano et al., 2013).

Según lo indicado por Cano et al. (2013):

“En el contexto internacional, las políticas energéticas giran en torno a tres principios: 1) la accesibilidad a las tecnologías y recursos, es decir, precios justos; 2) la disponibilidad que hace referencia tanto al suministro como a la calidad de los recursos energéticos; 3) la legitimidad social en términos del cumplimiento de metas ambientales y sociales”.

Dicho lo anterior, Colombia debería implementar las políticas energéticas necesarias para permitir el ingreso rentable tanto para las empresas como para los usuarios en proyectos de autogeneración y generación distribuida, con el fin de alcanzar sus objetivos de corto, mediano y largo plazo en materia energética. En particular, este trabajo se enfocará en el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica, revisión de casos exitosos, modelos de mercado, así como en las ventajas y desventajas de su implementación en el sector residencial. Adicionalmente, en este estudio se analizan las principales barreras de entrada de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), los instrumentos para superar estas barreras y los asuntos pendientes de la Ley 1715 de 2014, mediante referenciamiento de experiencias internacionales para finalmente presentar alternativas para un usuario residencial en Colombia.

Este trabajo plantea la necesidad de analizar la factibilidad de incursionar con sistemas fotovoltaicos en el sector residencial colombiano, aprovechando la disponibilidad de recursos renovables en Colombia, así como los avances tecnológicos.

Este estudio es importante porque es necesario identificar oportunidades que permitan desarrollar sistemas energéticos competitivos, eficientes y rentables desde el punto de vista social, económico y ambiental, de igual manera es deseable buscar alternativas que permitan adaptarse al nuevo paradigma de mercado eléctrico que plantea la integración de recursos de generación distribuida en la red eléctrica.

En el Capítulo 2 de este trabajo final se presentan los antecedentes, donde se incluyen: los instrumentos más comunes para la implementación de energías renovables, un resumen de la Ley 1715 de 2014, el estado de su regulación y un pre análisis de viabilidad para un proyecto de energía solar, suponiendo la implementación de la Ley. En el Capítulo 3, se describe el marco teórico del problema de investigación, analizando el estado de la auto y cogeneración, y las energías renovables en Colombia, se concluye con las razones para su implementación y una pequeña definición de la energía solar fotovoltaica. En el Capítulo 4 se presentan los objetivos generales y específicos del trabajo de investigación para proceder con el desarrollo de los mismos en los capítulos 5 y 6. En el Capítulo 5 se realiza un referenciamiento de países avanzados en desarrollo de la tecnología solar fotovoltaica. En el Capítulo 6 se presenta una revisión literaria donde se caracterizan los esquemas de inversión, descomponiéndolos en dos partes, modelos de negocio y mecanismos de financiación. Finalmente, en el Capítulo 7 se presentan las principales conclusiones, reporte de cumplimiento de los objetivos específicos y recomendaciones para trabajos futuros.

Capítulo 2. Antecedentes

En las últimas décadas, los sistemas energéticos a nivel mundial han experimentado reformas para apoyar el desarrollo de las energías renovables, facilitando en algunos países el ingreso a las fuentes de energía no convencionales renovables por parte de inversionistas privados y entes públicos; sin embargo, aún existen barreras económicas, regulatorias e institucionales (Beck & Martinot, 2004), que deben ser superadas para que estas fuentes de energía logren respaldar los sistemas energéticos. De igual manera, el desarrollo de fuentes no convencionales combinado con la preocupación por el medio ambiente, han generado oportunidades importantes para la masificación de estas fuentes de energía.

2.1 Barreras

Según el UPME & BID (2015), la integración de las energías renovables en los portafolios eléctricos presenta de manera general las siguientes barreras de entrada:

- Incentivos erróneos y subsidios a fuentes convencionales permitiendo su ampliación buscando garantizar seguridad de suministro.
- Altos costos de implementación y dificultades de financiamiento, posiblemente debidas a desconocimiento por parte de las fuentes de financiación.
- Reglas de mercado diseñadas para fuentes convencionales, tales como las fórmulas tarifarias, que incluyen cargos de transporte y otros, o la asignación de despachos por disponibilidad.
- Oligopolios de fuentes convencionales.
- Poca valoración a externalidades derivadas de fuentes no convencionales.
- Falta de conocimiento en tecnologías no convencionales renovables.
- Falta de personal capacitado para implementar las nuevas tecnologías.
- Preferencia por tecnologías convencionales y escepticismo por las no convencionales.

- Altos costos transaccionales en investigación, negociación y ejecución de los proyectos.
- Falta de regulación para facilitar el acceso a fuentes de energía renovables.

En el mismo estudio (UPME & BID, 2015), fue definida una metodología para detectar las principales barreras por tecnología, la cual consiste en una evaluación cualitativa de cinco aspectos considerados relevantes en la evaluación y priorización de las barreras y con un peso igual (20%): Impacto de la barrera en el desarrollo de la FNCER, Facilidad de implementación de soluciones para remover la barrera, Rol que juega el Estado en la remoción, Beneficios a ser obtenidos de la remoción y Costos asociados con la remoción; a cada aspecto se le asigna un valor entre 1 y 20 de acuerdo con una escala predefinida y al final se suman los valores, entre mayor puntaje, más prioritaria resulta la barrera. Para el caso de la energía solar fotovoltaica mediante sistemas conectados a las redes de distribución, las siguientes fueron las seis priorizadas, donde 1 indica mayor prioridad:

Tabla 2-1: Barreras de ingreso a energía solar fotovoltaica.

Fuente: Tomado de UPME & BID (2015)

Tema	Descripción de la barrera	Prioridad
Venta de excedentes	Antes de la Ley 1715 de 2014 se prohibía la venta de excedentes de autogeneración de manera permanente.	1
Política energética	No existe política energética en materia de Generación Distribuida con FNCER a pequeña escala conectadas a las redes de distribución.	2
Requerimientos técnicos	No existen normas técnicas y estándares para la selección de equipos, configuración, instalación y conexión al SIN de sistemas de generación con energía solar fotovoltaica.	3

Tema	Descripción de la barrera	Prioridad
Información de potenciales	No se tiene identificado el potencial de desarrollo para determinar y cuantificar posibles impactos en las redes de distribución.	4
Financiación	No se tienen esquemas orientados a la inversión en sistemas como el solar fotovoltaico dirigidos a mercados o subsectores propicios para su desarrollo.	5
Redes inteligentes	No existen propuestas o desarrollos regulatorios dirigidos al desarrollo de redes inteligentes.	6

2.2 Oportunidades

Como grandes oportunidades, es posible encontrar en la literatura diversos instrumentos para facilitar la penetración de las fuentes no convencionales de energía renovable en los portafolios energéticos de los países.

2.2.1 Instrumentos económicos comunes para el incentivo de energías renovables

Existen diversos instrumentos que han sido probados a nivel internacional y que pueden ser implementados para beneficio de las fuentes de energía renovables en Colombia, como son:

- **Obtención de beneficios ambientales:** Consiste en propiciar la reducción de emisión de gases de efecto invernadero, mediante mecanismos indirectos como impuestos a las emisiones o topes de emisión, lo que puede generar indirectamente en el mediano y largo plazo motivación para inversión en fuentes de energía con bajos niveles de emisión (UPME & BID, 2015).

- **Subastas:** Mecanismo para asignación de cantidades de energía a incorporar de una tecnología específica por parte del oferente con el precio más bajo (European Commission, 2008).
- **Portafolios estándar:** Topes mínimos de venta de energía a los generadores y comercializadores de electricidad a partir de fuentes renovables (OPTRES, 2007). Podría generar mercados de certificados verdes, en los cuales se transen para obtener las cuotas impuestas a los generadores y comercializadores (Del Río P., 2010).
- **Políticas energéticas para facilitar el ingreso a los mercados:** Permiten incorporar mecanismos directos para el ingreso de fuentes de energía renovables con instrumentos como metas de participación, garantía de precios, prioridad en el despacho, valores adicionales en las tarifas y promoción de prosumidores mediante la medición bidireccional en autogeneración (UPME & BID, 2015).
- **Mecanismos fiscales y de financiamiento:** Tienen por objetivo disminuir el alto costo de inversión mediante disminución o exención de impuestos, inversión del estado o facilidades de financiación (UPME & BID, 2015).
- **Feed-in Tariff (FiT):** Precio fijo por electricidad generada a partir de una tecnología particular en lugar del precio de mercado, también puede ser una prima sobre este último, lo que se conoce como Premium FiT (Schallenberg & Haas, 2012).

2.2.2 Medición bidireccional

Un instrumento muy interesante en la implementación de sistemas de generación distribuidos, especialmente en sistemas de autogeneración es la Medición Bidireccional; la cual permite a los generadores obtener créditos por la energía entregada a la red de distribución a la que se conectan, bien sea para obtener un pago por ella o intercambiarlos por la energía consumida en horas sin generación.

En 2008, México incorporó este instrumento para permitir a los clientes residenciales con instalaciones de autogeneración basadas en fuentes de energía solar fotovoltaica, conectarse a la red de distribución local para vender energía extra a la misma a cambio de créditos (ZERO.Energyon, 2014). Esto permite a los auto generadores disponer de la red como respaldo para las horas de no producción; los créditos obtenidos tienen una validez de doce meses para ser redimidos. Posteriormente se fueron incluyendo el sector comercial e industrial.

Se han implementado regulaciones similares en Brasil, permitiendo realizar mediciones netas en mini y micro generadores conectados a la red; igualmente, se ha implementado en Chile donde se reconoce por la energía inyectada a la red el precio de usuario regulado. Ambas medidas aplican únicamente si se usan fuentes de energía renovables (ANEEL, 2012).

2.3 Caso Colombia

En mayo de 2014, el congreso de Colombia expidió la Ley 1715, cuyos propósitos son regular la integración de energías renovables no convencionales al SIN y promover la gestión eficiente de la energía en términos de eficiencia energética y respuesta a la demanda. A continuación, se resumen los aspectos más relevantes de la Ley que servirán como insumo para el desarrollo del trabajo final.

El desarrollo y utilización de fuentes de energía renovables en Colombia fue declarado como de utilidad pública e interés social, por lo que contará con prioridades en asuntos como planes de ordenamiento territorial, planificación ambiental, fomento económico, entre otros.

Las siguientes son las principales regulaciones o actividades, de interés para el presente trabajo y que deben ser ejecutadas con el objetivo de dar aplicación a lo dispuesto en la Ley:

Tabla 2-2: Regulaciones o actividades necesarias para dar aplicación a la Ley 1715 de 2014.

Fuente: Ley 1715 de 2014

Actividad	Responsable	Estado
Expedir lineamientos de política energética en materia de generación con FNCE en las Zonas No Interconectadas (ZNI)	Ministerio de Minas y Energía	Decreto 1623 de 2015

Actividad	Responsable	Estado
Expedir lineamientos de política energética en materia de la entrega de excedentes de autogeneración a gran escala en el SIN	Ministerio de Minas y Energía Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	Decreto 2469 de 2014 Resolución CREG 024 de 2015
Expedir lineamientos de política energética en materia de la entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala en el SIN	Ministerio de Minas y Energía	Proyecto de Decreto
Expedir lineamientos de política energética en materia de la conexión y operación de la generación distribuida	Ministerio de Minas y Energía	Pendiente
Expedir lineamientos de política energética en materia del funcionamiento del Fondo de Energías no Convencionales	Ministerio de Minas y Energía	Proyecto de Decreto
Expedir lineamientos de política energética en materia de Gestión Eficiente de la Energía y	Ministerio de Minas y Energía	Proyecto de Decreto

Actividad	Responsable	Estado
demás medidas para el uso eficiente de la energía		
Establecer los reglamentos técnicos que rigen la generación con las diferentes FNCE	Ministerio de Minas y Energía	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE
Establecer los reglamentos técnicos que rigen la generación distribuida	Ministerio de Minas y Energía	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE
Establecer los reglamentos técnicos que rigen la entrega de los excedentes de la autogeneración a pequeña escala en la red de distribución	Ministerio de Minas y Energía	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE
Expedir la normatividad necesaria para implementar sistemas de etiquetado e información al consumidor sobre la eficiencia energética de los procesos, instalaciones y productos manufacturados	Ministerio de Minas y Energía	Resolución 41012 del 18 de septiembre de 2015 - Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ

Actividad	Responsable	Estado
Establecer los procedimientos para la conexión, operación, respaldo y comercialización de energía de la autogeneración distribuida	Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	Pendiente
Establecer los mecanismos regulatorios para incentivar la respuesta de la demanda y la mejora de la eficiencia energética en el SIN	Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG)	Pendiente
Definir el límite máximo de potencia de la Autogeneración a Pequeña Escala	Unidad de Planeación Minera Energética (UPME)	Resolución UPME 0281 de 2015 1 MW

Los siguientes son los mecanismos para la promoción de la autogeneración a pequeña y gran escala que definió la Ley:

- **Entrega de excedentes:** Autorización para entregarlos a la red de distribución y transporte, una vez expedida la regulación de la CREG.
- **Medición bidireccional y procedimientos sencillos de conexión y entrega de excedentes:** Se permite la instalación de medidores bidireccionales para liquidar consumos y entregas a la red, facilitando la conexión a usuarios residenciales.
- **Venta de energía por parte de generadores distribuidos:** Remuneración a los generadores distribuidos teniendo en cuenta los beneficios que den a la red, como por ejemplo pérdidas evitadas y el soporte de energía reactiva, según lo regule la CREG.

- **Venta de créditos de energía:** Los créditos de energía pueden ser negociados según lo que defina la CREG.
- **Programas de divulgación masiva:** Divulgación al público en general sobre beneficios, requisitos y procedimientos para implementar autogeneración a pequeña escala.
- **Programa de divulgación focalizada:** Divulgación en zonas con mayor probabilidad de implementación de sistemas de autogeneración.

2.3.1 Incentivos para la inversión

Con la finalidad de incrementar la inversión en FNCE, la Ley 1715 de 2014 definió los siguientes incentivos:

- Quienes estén obligados a declarar renta y realicen inversiones en FNCE podrán reducir anualmente de su renta, por 5 años, el 50% de la inversión realizada.
- Exclusión del IVA para equipos, elementos, maquinaria y servicios nacionales o importados destinados a la pre inversión e inversión, producción y utilización de FNCE, así como para la evaluación y medición de potenciales recursos.
- Exención del pago de Derechos Arancelarios de importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados para las labores de pre inversión e inversión de proyectos con FNCE.
- Depreciación acelerada para maquinaria, equipos y obras civiles necesarias para la pre inversión, inversión y operación de la generación a partir de FNCE.

Por último, en la misma Ley 1715 de 2014, se considera la energía solar como Fuente No Convencional Renovable y se indica que el Gobierno Nacional incentivará el uso de la generación fotovoltaica como forma de autogeneración en el sector residencial, permitiendo la medición bidireccional en doble vía (medición neta), es decir como canje de energía y no como pago por la energía entregada.

2.3.2 Viabilidad de un proyecto de autogeneración mediante energía solar fotovoltaica con los instrumentos actuales (Ley 1715 de 2014)

De acuerdo con análisis realizados por la UPME y el BID (2015) en un escenario sin incentivos y otro con incentivos de la Ley 1715, y tomando como datos para evaluación

financiera de proyectos de autogeneración con energía solar fotovoltaica en el sector residencial los siguientes:

- **Porcentaje de deuda:** 0% (suponiendo que el usuario asume la compra de los equipos en su totalidad).
- **Costo de oportunidad:** 4% (tomando como instrumento para rendimiento de un ciudadano común, los bonos de estado).
- **Radiación solar promedio:** 4,5 kWh/m²/d (promedio según el atlas de radiación del IDEAM).
- **Capacidad instalada:** 3kWp.
- **Factor de rendimiento:** 84%.
- **Costo de instalación promedio incluido IVA y aranceles (USD/W):** 4,8.
- **TRM:** \$2.000 (promedio en el momento de análisis).
- Para el escenario con incentivos, no se incluye mecanismo de entrega de excedentes ni incentivos fiscales, pero si reducción de IVA y aranceles.

Se concluyó que la TIR para un proyecto con vida útil de 25 años es de -0,9% y -2% con y sin incentivos respectivamente, lo que hace inviable un proyecto de autogeneración residencial puesto que no se alcanza a igualar el costo de oportunidad del 4%.

Como escenario alternativo, se planteó la posibilidad de incluir como un ingreso la reducción del impuesto de renta sobre el salario de personas naturales por el 50% de la inversión hasta por 5 años como lo sugiere la Ley, lo que permitió alcanzar una TIR del 2,3%, aún por debajo del costo de oportunidad.

Después de analizar otros escenarios como la evaluación en instalaciones residenciales obligadas a la contribución del 20% (estratos 5 y 6), entrega de excedentes con facturación neta y medición neta, así como la posibilidad de deducción del impuesto de renta según lo indicado en la Ley 1715 de 2014, se concluyó que para el sector residencial de estratos altos puede ser rentable si se realiza medición neta y se hace deducción del impuesto de renta, cómo lo sugiere la Ley, logrando periodos de retorno a la inversión cercanos a los 9 años.

No obstante, lo anterior, la energía solar fotovoltaica parece difícil de implementar en Colombia, al menos entre los estratos bajos debido a los subsidios que reciben este tipo

de clientes. Sin embargo, opciones como las implementadas por Empresas de Servicios Energéticos (ESCOS) en los Estados Unidos podrían ser una alternativa interesante para el mercado colombiano.

Adicionalmente, las externalidades consideradas que incluyen emisiones de efecto invernadero, creación de valor económico, costo de integración a la red, complementariedad con El Niño, ahorro de combustibles fósiles (electricidad y calor) e impactos sobre la salud (UPME & BID, 2015), podrían ser otro indicador para evaluar la factibilidad o no de ejecución de proyectos de esta índole.

2.4 Caso Estados Unidos

En la actualidad, diversas Empresas de Servicios Energéticos (ESCOS) de los Estados Unidos han propuesto un nuevo modelo de negocio a los clientes residenciales para hacer aprovechamiento de los beneficios de la energía solar fotovoltaica.

El aspecto fundamental del modelo de negocio, radica en la instalación de sistemas de autogeneración mediante paneles solares en los techos de la vivienda del cliente, ofreciendo como propuesta de valor:

- “Energía más barata que con el distribuidor local”: SolarCity
- Conservar la conexión con el distribuidor local, permitiendo medición bidireccional para entregar excedentes a la red en horas de generación extra y compras en horas de no producción.
- Precios predecibles.
- Instalaciones desde \$0.
- Monitoreo a los sistemas, 24 horas los 7 días de la semana.
- Aplicaciones móviles para monitorear consumos y responder ante incrementos.
- Posibilidad de respaldo con baterías.

Los contratos típicos ofrecidos por tales compañías incluyen:

- **Purchase:** Compra de los equipos en efectivo por parte del cliente y contrato de operación y mantenimiento.

- **Lease:** Arrendamiento de los equipos, continúan siendo propiedad de la empresa. Se cobra por el arrendamiento y no por la energía producida, igualmente se presta el servicio de operación y mantenimiento.
- **PPA:** Contrato de compra de energía, se cobra por la energía y la operación y mantenimiento están a cargo de la empresa.

Las siguientes son cinco empresas que tienen operaciones en la actualidad:

Tabla 2-3: ESCOS en Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia.

	SolarCity (SolarCity, 2016)	SunRun (SunRun, 2016)	Sungevity (Sungevity, 2016)	SunPower (SunPower, 2016)	Real Goods Solar (RGS Energy, 2016)
Tipos de contrato	Purchase Lease PPA	Lease PPA	Lease PPA	Purchase Lease PPA	Purchase PPA
Duración de contratos	20 años	20 años	10 – 20 años	10 – 20 años	20 años

En este capítulo fueron descritas como antecedentes, las principales barreras de entrada a los sistemas energéticos de las fuentes renovables de energía, así como los principales instrumentos para incentivarlas, posteriormente fue introducida la Ley 1715 de 2014 y su estado de implementación como marco de partida para el referenciamiento propuesto, finalmente fue nombrada de manera general, la experiencia de los Estados Unidos de América en el surgimiento de empresas ESCOS y sus modelos de negocio. En el siguiente capítulo se puntualizará el marco teórico del trabajo final.

Capítulo 3. Marco teórico

Históricamente, los sistemas eléctricos en el mundo han estado compuestos por centrales de generación a gran escala, basadas principalmente en combustibles fósiles, donde su impacto negativo sobre el medio ambiente era ignorado (Jenkins, Ekanayake, & Strbac, 2010). Sin embargo, en los últimos años ha tomado especial importancia el término conocido como Generación Distribuida (GD), definido por Jenkins et al., (2010) como la generación en el lugar de consumo o muy cerca del mismo y que normalmente se encuentra conectada a la red de distribución para abastecer una demanda local, por ejemplo, en poblaciones pequeñas.

Comúnmente, cuando la generación distribuida se realiza para atender la demanda total o parcial de energía eléctrica en una locación particular, por ejemplo, en casas, fábricas, empresas, entre otros, se define como Autogeneración, y si se produce conjuntamente dos o más tipos de energías, por ejemplo, electricidad y calor, se refiere a Cogeneración, (Hartre, Morales & Torres, 2014).

Algunos países como Estados Unidos, Alemania, China, entre otros, han incursionado en proyectos de generación distribuida y autogeneración en los últimos años, incentivados por los avances en tecnologías como la solar fotovoltaica y en estímulos del gobierno.

Mercados eléctricos como el de Estados Unidos han permitido el surgimiento de nuevos modelos de negocio para empresas privadas, como es el caso de SolarCity, SunPower, entre otros. El plan de negocio de estas compañías se basa en ofrecer un portafolio de servicios a clientes residenciales y comerciales interesados en instalar paneles solares en los techos de sus edificaciones, ofreciendo planes como la compra de los equipos, el arrendamiento de los mismos o acuerdos de compra de electricidad (PPA). A tales clientes, se les conoce como prosumidores, es decir usuarios que producen, venden y administran la demanda (Jablonska, 2014).

Dado que es de interés conocer la aplicabilidad y requerimientos de estos modelos de negocio para su masificación en Colombia, tales modelos y mejores prácticas serán estudiadas con mayor profundidad en capítulos posteriores. Sin embargo, es importante conocer antes que nada el estado actual de la autogeneración, cogeneración y el ingreso de fuentes de generación renovables en el país, para lo cual nos basaremos en algunos estudios de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), entre otros.

3.1 Autogeneración y cogeneración en Colombia

En el año 2014, fue llevado a cabo un estudio para conocer la capacidad instalada en autogeneración y cogeneración en Colombia para cuatro sectores económicos: industrial, petrolero, comercial y público (Hart-re et al., 2014), que permitiera tener un punto de partida para identificar las tendencias futuras para dichas tecnologías de generación en el país, a continuación, se resumen los principales resultados de la investigación:

- La mayor capacidad instalada en autogeneración la tiene el sector petrolero con aproximadamente el 80% del total; el 20% restante corresponde al sector industrial, los demás sectores del estudio no tienen inversiones en autogeneración. Así, la capacidad instalada total es de 1.189 MW.
- En cogeneración el resultado es diferente, el 80% corresponde al sector industrial y el 20% al petrolero; nuevamente los demás sectores no tienen participación y la capacidad instalada total es de 748 MW.
- La fuente de energía principal es el gas natural.
- Las tecnologías más utilizadas son: motores de combustión interna, turbinas de vapor y turbinas de gas.
- La mayoría de instalaciones tanto en autogeneración como en cogeneración no superan los 5 MW.
- La principal razón del sector industrial para contar con autogeneración es asegurar la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica para sus procesos productivos.
- Las razones de los sectores comercio, público, hotelero y salud para no contar con autogeneración y cogeneración son:
 - Criterios financieros. Alta inversión y periodos largos de retorno a la misma.
 - Desconocimiento de las tecnologías existentes.
 - Desconocimiento de la regulación del sector.

- Desconocimiento de oportunidades.
- Debilidades para la estructuración de proyectos energéticos.
- Falta de asignación presupuestal para este tipo de proyectos (en el sector público).
- Dificultades con empresas de energía para obtener contratos de energía de respaldo.

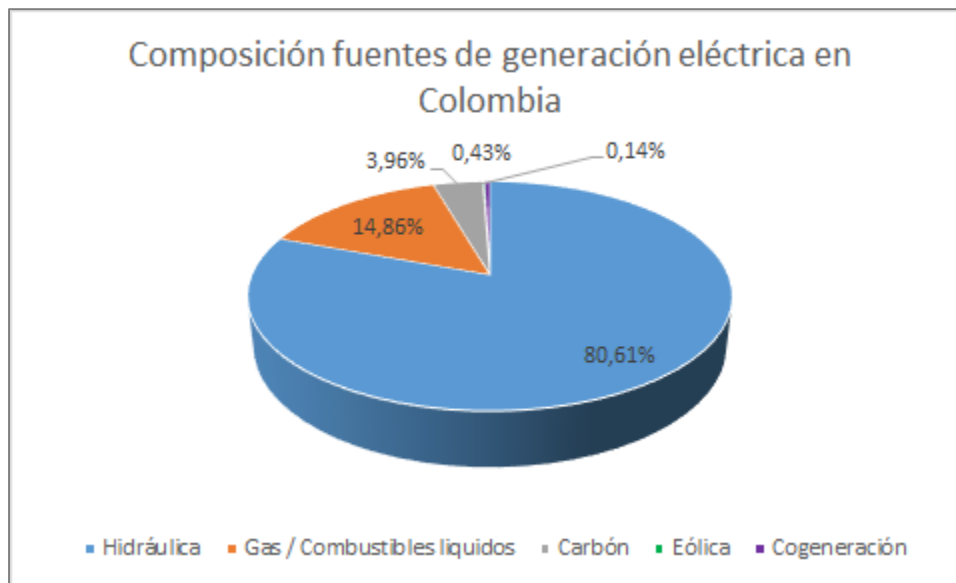
En el mismo estudio (Hart-re et al., 2014), se indica que a pesar de que la Ley 1715 de 2014 contempla la venta de excedentes de energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional (SIN), dada la falta de regulación de la misma, los auto generadores no han podido hacer uso de este beneficio.

3.2 Fuentes de energía renovable en Colombia

Con respecto al consumo de energía, sin restringir a la electricidad, el total actual en Colombia proviene en aproximadamente 80% de fuentes fósiles mientras solo el 20% restante es generado con fuentes renovables (XM, 2016). A pesar de ello y debido a la enorme disponibilidad de recursos aún no aprovechados y a la tendencia en la reducción de los costos de tecnologías renovables, cobra especial importancia la necesidad de integrar dichas fuentes al portafolio energético nacional, obteniendo beneficios adicionales.

Colombia, actualmente presenta un déficit considerable en materia de implementación de fuentes de energía no convencionales en el mercado eléctrico, como se puede observar en la **Figura 3-1**, sólo el 0,14% de la capacidad instalada de energía eléctrica corresponde a la capacidad eólica de la planta de generación Jepíachi en la alta Guajira. Este déficit se debe principalmente a la confiabilidad de los recursos convencionales, los altos costos de implementación de las energías renovables, la alta dependencia de la hidrología, falta de capacidad de transmisión a sitios con alto potencial de generación, además de la demora en la reglamentación de la Ley 1715 de 2014 que aún no entrega instrumentos claros para su aplicación.

Del consumo total de energía eléctrica, el 31% corresponde al mercado regulado, es decir, al sector residencial y pequeños negocios (XM, 2016), lo que genera una oportunidad importante para que las FNCER focalicen sus esfuerzos en ellos.

Figura 3-1: Composición fuentes de generación eléctrica en Colombia.**Fuente:** Elaboración propia, datos de ACOLGEN (2016)

En la **Figura 3-2** puede observarse el potencial eólico en diferentes áreas del país, de igual manera, en la **Figura 3-3** se presenta la irradiación promedio para algunas zonas del territorio nacional.

Figura 3-2: Potencial eólico en Colombia.**Fuente:** Tomada de UPME & BID (2015)

Área	Potencial eólico (MW de capacidad instalable)
Costa Norte	20.000
Santanderes	5.000
Boyacá	1.000
Risaralda - Tolima	1.000
Huila	2.000
Valle del Cauca	500

Figura 3-3: Irradiación promedio en Colombia.**Fuente:** Tomada de UPME & BID (2015), UPME & IDEAM (2005).

Región	Promedio irradiación (kWh/m ² /día)
Guajira	6,0
Costa Atlántica	5,0
Orinoquia	4,5
Amazonía	4,2
Región Andina	4,5
Costa Pacífica	3,5

Para ambos casos, es evidente el alto potencial sin explotar y resultaría interesante comenzar a focalizar esfuerzos para su aprovechamiento.

Algunos países industrializados han venido avanzando de manera acelerada en el desarrollo e implementación de energías de origen renovable, aprovechando el enorme potencial mundial como lo indica la UPME y el BID (2015):

“Todas las fuentes mencionadas, que tienen su origen en la radiación solar recibida en la Tierra, el movimiento rotacional del planeta, su interacción gravitacional con cuerpos como la luna y la actividad de decaimiento nuclear que tiene lugar en su interior, ascienden a potenciales en el orden de 1.511 EWh por año, es decir, unas 14.500 veces la energía final consumida anualmente a nivel mundial (8.979 Mtep en 2012 según el Key World Energy Statistics, 2014, de la Agencia Internacional de Energía –IEA–, que equivalen a 0,104 EWh).”

Estos países servirán más adelante en este trabajo como referente para Colombia; entre ellos se encuentran: Alemania, China, Australia, Estados Unidos, la comunidad europea en general, entre otros.

3.3 Razones para implementar energías renovables y generación distribuida

Una de las razones principales para incursionar en fuentes de energía renovables, es el alza en los precios de electricidad que se ha venido experimentando en los últimos años como resultado de los periodos de baja hidrología ocasionados por el fenómeno del niño. Estos periodos son respaldados con plantas térmicas, cuyos costos de operación son muy altos y dependen de los precios de combustibles como el gas natural, sujetos a la volatilidad de mercados internacionales. En la **Figura 3-4** se pueden observar los precios de la electricidad en bolsa para los años 2015 y 2016, nótese la alta variabilidad, especialmente en los meses de mayor intensidad del fenómeno del niño más reciente. A partir de este evento se produjo un alto estrés en sistema, incremento de precios, campañas de ahorro voluntario, riesgos de apagones y el planteamiento de la necesidad de reestructuración de algunos mecanismos actuales como el precio de escasez, el cargo por confiabilidad, formulación de precios, entre otros.

Figura 3-4: Precio bolsa nacional 2015-2016.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos disponibles en “Información Inteligente” XM (2016).



En diversos estudios como los de Vergara et al (2010), COWI (2014) y los planes de expansión en generación y transmisión de la UPME 2013-2027 y 2014-2028, se ha verificado la complementariedad que existe entre el caudal de ríos en épocas de sequía y la velocidad de los vientos e irradiación promedio del sol, lo que podría resultar en una oportunidad para evitar respaldar el portafolio hidráulico con plantas térmicas costosas y hacer mayor uso de instalaciones eólicas y/o solares durante periodos de baja hidrología.

Otra motivación importante, es el alto índice de desarrollo que presentan las tecnologías alternativas de generación de energía, como es el caso de la energía solar fotovoltaica que ha experimentado reducciones significativas en los costos de inversión en los últimos años, así como un incremento en la capacidad instalada a nivel mundial, superando las expectativas de organismos como la IEA, Greenpeace, EPIA y el Banco Mundial (UPME & BID, 2015).

Ventajas adicionales de la implementación de generación distribuida incluyen:

- Bajo impacto ambiental.
- Independencia de insumos como carbón, gas natural o combustibles fósiles para su operación.
- Menores costos de producción.

- Disminución de pérdidas en transmisión y distribución: Debido a la cercanía a las cargas, cortas distancias entre la fuente y el consumo, se evita altas pérdidas de transporte.
- Costos de capacidad de generación evitados: Fuentes distribuidas permiten reducir la necesidad de instalación de centrales con grandes capacidades.
- Costos de capacidad de transmisión y distribución evitados: Fuentes distribuidas no requieren interconexiones grandes al SIN.
- Cobertura de riesgo: Independencia de los precios de combustibles fósiles.

En adelante, el foco del presente trabajo se centrará en la energía solar fotovoltaica como alternativa para la autogeneración doméstica de energía eléctrica debido a su modularidad y facilidad de instalación en pequeñas estructuras, así como su tendiente reducción de costos y avances tecnológicos de los últimos años.

3.4 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica, una de las fuentes renovables con mayor avance mundial, ha experimentado en los últimos 5 años incrementos de capacidad instalada mundial en promedio del 55%, principalmente en Alemania, China e Italia, así como drásticas reducciones en los costos de producción y de inversión en tecnología de punta en la última década (REN21, 2014).

El principio básico de la energía solar fotovoltaica es aprovechar la radiación solar, mediante el efecto fotoeléctrico de materiales semiconductores, para producir el movimiento de electrones libres conforme los rayos solares inciden sobre el mismo, generando así electricidad de corriente continua (FENERCOM, 2006).

Un sistema fotovoltaico consiste de los siguientes componentes (FENERCOM, 2006):

- **Panel solar fotovoltaico:** Módulo compuesto por células fotovoltaicas que se expone directamente a la radiación solar para provocar el movimiento de electrones libres en la superficie.
- **Inversor:** Equipo que se encarga de la conversión de la corriente continua generada por los paneles solares a corriente alterna para uso doméstico.

- **Sistema de acumulación (opcional):** Consiste en equipos de almacenamiento, tales como baterías, cuyo propósito es acumular energía en periodos de alta producción para cubrir periodos sin generación, principalmente en horas sin sol.
- **Regulador de carga (opcional):** Equipos encargados de la regulación de carga de los sistemas de acumulación.

El país cuenta con una radiación solar promedio de 4,5 kW/m²/día (UPME-IDEAM, 2005) que podría aprovechar teniendo en cuenta su ideal ubicación geográfica en la zona ecuatorial, superando a países como Alemania, que a pesar de contar con potenciales menores y menos horas de sol en algunas épocas del año ha sabido hacer uso eficiente de las fortalezas de la tecnología.

Dado su bajo costo, facilidad de instalación y modularidad, esta tecnología podría ser de alta aplicabilidad en pequeñas instalaciones comerciales y residenciales permitiendo cierta independencia de la red tradicional, teniendo un mejor control de costos y aislamiento a la variabilidad de los precios del mercado minorista. Sin embargo, es necesaria una reglamentación que permita su masificación en el país.

Este capítulo detalló el marco teórico del trabajo final, incluyendo la definición de los conceptos de generación distribuida, cogeneración, autogeneración y generación solar fotovoltaica, los modelos de negocio que han surgido a partir de ellos y por último fue descrito el estado de autogeneración, cogeneración y las fuentes de energía renovable en Colombia. En el siguiente capítulo se presentarán los objetivos de investigación y en el capítulo 5 se reportarán los resultados de la investigación de cada país de interés.

Capítulo 4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Diseñar esquemas de inversión para la micro generación fotovoltaica de energía eléctrica en el sector residencial colombiano.

4.2 Objetivos específicos

- Caracterizar esquemas de inversión para la autogeneración fotovoltaica de energía eléctrica a nivel residencial.
- Proponer alternativas para la regulación de la autogeneración de energía eléctrica en Colombia, tomando como base la regulación existente, experiencia y mejores prácticas de países clave en su implementación.

Capítulo 5. Países de referencia

Como punto de partida para el análisis, se sintetizará el estado de implementación de energías renovables, en especial la energía solar fotovoltaica, en los países que, por su preocupación, inversión e incentivos, han liderado su desarrollo a nivel mundial.

Sacando provecho del enorme potencial de energía solar en el mundo, 21.840 TW (Kumar Sahu, 2015), muchos países han dedicado esfuerzos en el diseño de iniciativas que permitan el desarrollo de las energías renovables y en especial la solar fotovoltaica, la cual es del interés de este trabajo.

Según Kumar Sahu (2015), IRENA (2015) y Ren21 (2015), las regiones con mayores índices de crecimiento en energías renovables son la Unión Europea, con aproximadamente el 70% de la capacidad adicional mundial entre 2000 y 2012, Asia, que, por intermedio de Japón y China, incluyendo a Corea, Taiwán y Tailandia, ha dominado gracias a las políticas favorables y Norteamérica, con los Estados Unidos y Canadá.

Los cinco países que mayor inversión han realizado en energías renovables, con cifras al año 2015 son (REN21, 2016):

- **China:** USD 102,9 billones.
- **Estados Unidos:** 44,1 billones.
- **Japón:** USD 36,2 billones.
- **Reino Unido:** USD 22,2 billones.
- **India:** USD 10,2 billones.

De acuerdo con Kumar Sahu (2015), China, Estados Unidos, Alemania, Japón e Italia son los que poseen la mayor capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en el mundo, siendo Alemania e Italia los que poseen el registro más grande de capacidad per cápita con 0,491 y 0,308 kW respectivamente (Masson & Brunisholz, 2016).

Como consecuencia de la preocupación mundial por los efectos en el medio ambiente de las tecnologías de generación tradicionales, basadas en combustibles fósiles, además de la necesidad de seguridad energética. Estos países, están trazando objetivos de mediano y largo plazo para diversificar su matriz energética y apuntar a un 100% de generación de energía con energías renovables y amigables con el medio ambiente.

Muchos países europeos están brindando subsidios a la tecnología fotovoltaica, por otro lado, esta tecnología ha experimentado un crecimiento vertiginoso en Estados Unidos, además China ha aumentado la oferta de paneles, la eficiencia de los paneles también ha crecido causando una caída muy grande en los precios de módulos y celdas. Estos cambios han conllevado a una mayor adopción de la energía solar fotovoltaica, convirtiéndose en un ciclo de realimentación positivo, que permite el ingreso de nuevos actores interesados en el mercado.

Dado que según Kumar Sahu (2015), las políticas energéticas son un asunto importante para lograr el crecimiento y direccionan la seguridad en el suministro, impactos ambientales y costos, a continuación, se presentará un consolidado de las principales políticas e iniciativas de negocio que se han generado como resultado de las mismas en los países más importantes a nivel mundial en energía solar fotovoltaica.

5.1 Alemania

Alemania, el país uno de los países con mayor capacidad instalada de energía solar fotovoltaica, (Karakaya, Nuur, & Hidalgo, 2016), comenzó su preocupación por las energías renovables poco después de la llamada “primera crisis del petróleo” en el año 1974, con asuntos como regulación de sus precios y el apoyo a las inversiones (Kumar Sahu, 2015). Desde entonces, ha realizado ajustes sistemáticos a las leyes que promueven la incorporación de este tipo de energías, como la “Electricity Feed Act” (StrEG) en 1991 y la “Renewable Energy Sources Act” (EEG) en el año 2000, modificada por última vez en el año 2014, que pretenden incorporar las fuentes renovables mediante obligaciones de compra de electricidad renovable por parte de empresas de servicios públicos, así como subsidios y préstamos gubernamentales a los proyectos renovables.

Por otra parte, en el año 2010, el plan de acción nacional de energías renovables (NREAP, por sus siglas en inglés), proyectó una participación de energías renovables del 38, 50, 65

y 85% en los años 2020, 2030, 2040 y 2050 respectivamente, con una capacidad acumulada de 51,75 GW de energía solar fotovoltaica, con adiciones de 3,5 GW por año (Kumar Sahu, 2015), lo que hace que el gobierno este repensando la manera como se genera, transporta y vende la energía (Richter, 2013).

El principal incentivo incorporado por el EEG, y que ha fomentado que las empresas e instituciones inviertan grandes cantidades de dinero en investigación y desarrollo, ha sido el Feed-In Tariff (FiT), que consiste en garantizar una tarifa mínima durante 20 años a las nuevas instalaciones y que decrece anualmente de acuerdo con la cantidad de nuevas instalaciones. Si la energía generada se usa para autoconsumo, la tarifa es menor.

El objetivo del FiT en Alemania fue premiar la rápida adopción de energías renovables mientras se volvían competitivas, producto de ello los costos de sistemas fotovoltaicos decrecieron un 85% desde el 2010, además hubo reducción en los costos “soft”, aquellos asociados con la instalación, y se maximizó la transparencia, longevidad y certidumbre en el mercado (Kumar Sahu, 2015).

Además del FiT, el EEG incorporó políticas a los sistemas conectados a la red, como reducciones arancelarias entre 20 y 29% a partir de abril de 2012 y apoyo financiero a través de bancos, fomentando por tanto el autoconsumo y venta en el mercado mayorista (Kumar Sahu, 2015).

Según Karakaya et al (2016), en Alemania, la energía solar fotovoltaica alcanzó la paridad de red en 2012 y sus precios son ahora competitivos con los recursos tradicionales.

Todo lo anterior, ha propiciado a que en Alemania hayan surgido actores diferentes a las tradicionales empresas de servicios públicos, con nuevos modelos de negocio y formas de jugar en el mercado, tanto así, que al año 2012, el 23% de la electricidad producida es renovable y sólo el 12% de la capacidad instalada corresponde a empresas de servicios públicos, el restante está siendo liderado por inversionistas y usuarios privados de energía renovable como la solar fotovoltaica en edificaciones (Richter, 2013).

De acuerdo con Richter (2013), en Alemania los modelos de negocio para la generación de energía solar fotovoltaica están separados dependiendo si se encuentra del lado de la empresa de servicios públicos o del lado del cliente.

Para el caso de la generación del lado de la empresa de servicios públicos, la propuesta de valor es la producción de electricidad en gran volumen inyectada a la red, con poca cantidad de instalaciones centralizadas, pero de gran tamaño, los clientes pagan por unidad consumida y los ingresos se dan por la inyección a la red y mediante economías de escala.

Por su parte, la generación focalizada en el cliente, propone soluciones personalizadas incluyendo servicios relacionados con la energía, el cliente está involucrado en la generación porque aloja el sistema y comparte beneficios con la empresa de servicios públicos; las relaciones con el cliente son de largo plazo y la idea es tener muchas instalaciones de pequeña escala con generación cerca del punto de consumo. Los ingresos son por el uso directo, inyección a la red y otros servicios. Los costos de transacción son altos.

En modelos de negocio de generación distribuida, Alemania se encuentra maduro en el suministro de sistemas de generación con múltiples actores y con crecimiento potencial, por el lado de modelos de negocio operados por terceros como Leasing, PPAs y Rent-the-space, aún existen pocos actores en el mercado y se consideran modelos de negocio en desarrollo (Abella et al., 2015).

5.1.1 Caso DZ-4

DZ-4 GmbH es una empresa de servicios de electricidad ubicada en Hamburgo, Alemania; fundada en el año 2012 con fondos de un capital de riesgo por ser una empresa en fase de crecimiento, como respuesta a la caída de precios de paneles solares fotovoltaicos y su modelo de negocio se basa en Leasing de sistemas solares.

La propuesta de valor a sus clientes es el arrendamiento (Leasing) de un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para autoconsumo, en algunos casos con almacenamiento en baterías; en caso de déficit en la generación, se realiza entrega de electricidad de NaturWatt, un aliado de DZ-4 que también garantiza energía 100% renovable (Abella et al., 2015). En la **Tabla 5-1** se resumen las dos opciones de Leasing solar de DZ-4.

Tabla 5-1: Opciones de Leasing solar DZ-4.**Fuente:** Tomada de Abella et al., (2015).

	Leasing Solar	Leasing Solar + Baterías
Duración	10 años (opción de 10 años mas)	
Inversión inicial	€0	
Pago mensual	Pago fijo por los panes solares	Pago fijo por los paneles solares y baterías (aproximadamente el doble del sistema sin baterías)
Instalación y operación y mantenimiento	Diseño, instalación, mantenimiento y monitoreo bajo responsabilidad de DZ-4	
% de consumo cubierto con los paneles	Aproximadamente hasta un 33%	Aproximadamente hasta un 66%
Terminación del contrato	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Posibilidad de renovación después de los primeros 10 años. ▪ Compra del sistema por el valor residual después de los primeros 10 o 20 años. 	

5.2 Estados Unidos

Estados Unidos por su parte, entre los años 2009 y 2012, contaba con una proporción del 11% en energías renovables y la solar fotovoltaica se encontraba creciendo a tasas muy altas anualmente (Kumar Sahu, 2015). Para los años 2011 y 2012, lideró en inversiones en energías limpias entre los países del G-20, logrando romper records de capacidad instalada en estados como California, Arizona, New Jersey y Nevada, siendo California, Arizona, Hawái, Massachusetts y Nueva York los más importantes a nivel residencial (Kumar Sahu, 2015).

De acuerdo con Kumar Sahu (2015), fueron cuatro aspectos los que favorecieron el acelerado crecimiento en 2012:

- La importación de celdas solares desde China.
- El auge del modelo de negocio TPO (Third-Party-Owned) con PPAs (Power Purchase Agreements) y Leasing solares residenciales.

- Entrada en operación de mega proyectos de energía solar.
- Sobreoferta de paneles solares, con márgenes de fabricantes bajos y cierre de fábricas no competitivas alrededor del mundo.

El crecimiento en los Estados Unidos mediante instalaciones de energía solar fotovoltaica rooftop se ha dado en gran medida gracias a los incentivos y subsidios federales y estatales, aliviando los costos de inversión y las tasas de financiamiento, que son las dos barreras más grandes para que esta tecnología logre alcanzar la paridad de red.

Entre los incentivos o subsidios más importantes se encuentran el ITC (Investment Tax Credit), el MACRS (Modified Accelerated Cost Recovery System), la medición neta, los RPS (Renewable Portfolio Standards) y los RECs (Renewable Energy Certificates).

5.2.1 Investment Tax Credit (ITC)

El ITC es uno de los incentivos más importantes a nivel federal en apoyo a los proyectos de energía solar, promoviendo la inversión mediante el otorgamiento de un crédito fiscal del 30% del valor de las inversiones en esta tecnología sobre los impuestos a los ingresos de los propietarios, bien sea residencial, comercial o empresas de servicios públicos. Este incentivo estaba pactado inicialmente hasta finales del año 2016, pero fue renovado hasta 2023, otorgando un crédito del 30% a los proyectos que hayan comenzado construcción hasta 2019 y reduciéndose a 26 y 22% en 2020 y 2021 respectivamente, después del año 2023, solo el sector comercial y empresas de servicios públicos tendrán un crédito del 10% permanente (SEIA, 2016).

El trámite para obtener los beneficios del ITC debe realizarse por parte del propietario antes de comenzar la construcción de los sistemas, el cual dependiendo del estado, gobierno local, tipo y tamaño, puede requerir de un esfuerzo significativo en términos de tiempo y costo (Kumar Sahu, 2015).

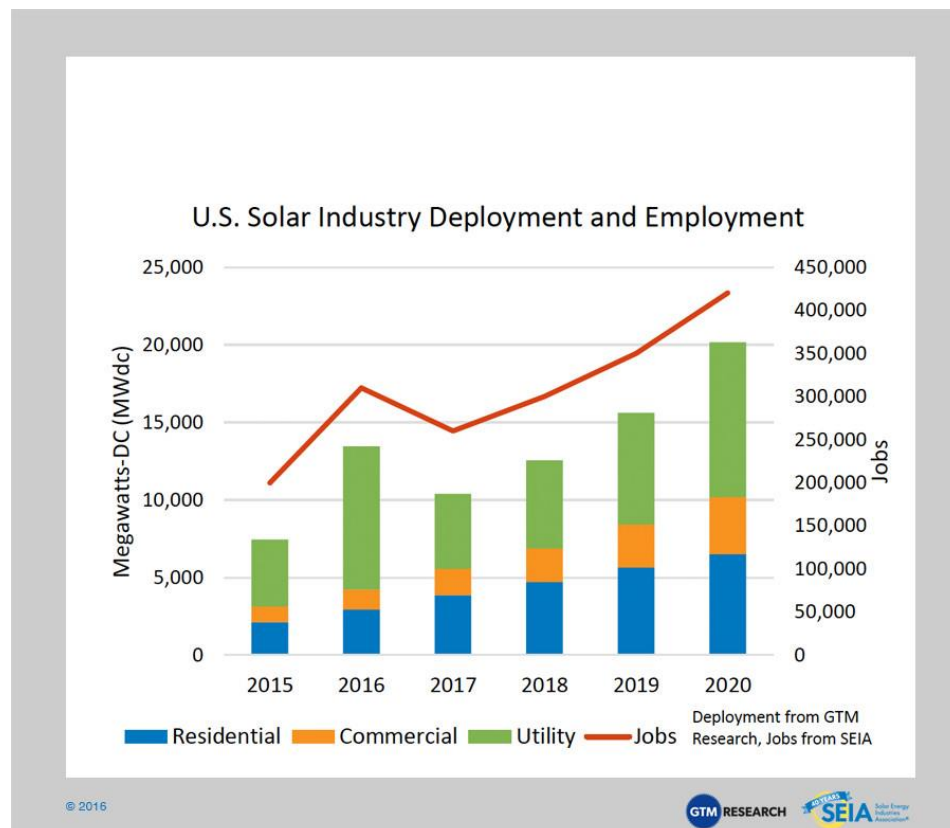
El efecto de la renovación del ITC, a finales del 2015, es el crecimiento esperado de la industria solar en Estados Unidos, proyecciones de la Solar Energy Industries Association (SEIA, 2016), indican que en el año 2020 se alcanzará una capacidad anual de energía solar de más de 20 GW y la creación de más de 420.000 empleos. La proyección anual puede verse en la **Figura 5-1**.

De acuerdo con las proyecciones del SEIA (2016), entre 2016 y 2020 serán aportados más de 72 GW de energía solar fotovoltaica, superando ampliamente las expectativas, logrando una capacidad aproximada total de 98 GW y aportando más del 3,5% de la energía total de los Estados Unidos.

En cuanto a inversión, se espera un adicional de USD 132 billones entre 2016 y 2020, con más de USD 30 billones anuales inyectados a la economía de los Estados Unidos para este último año (SEIA, 2016).

Figura 5-1: Despliegue y empleo de la industria solar en Estados Unidos.

Fuente: Tomado de SEIA (2016)



5.2.2 Modified Accelerated Cost Recovery System (MACRS)

El MACRS es un mecanismo de depreciación acelerada de equipos, que ha permitido la inversión en energías renovables y reducir los costos a los consumidores. Fue establecido en 1986 con el objetivo de facilitar la recuperación de inversiones en equipos, con propósitos fiscales, mediante deducciones anuales (SEIA, 2016).

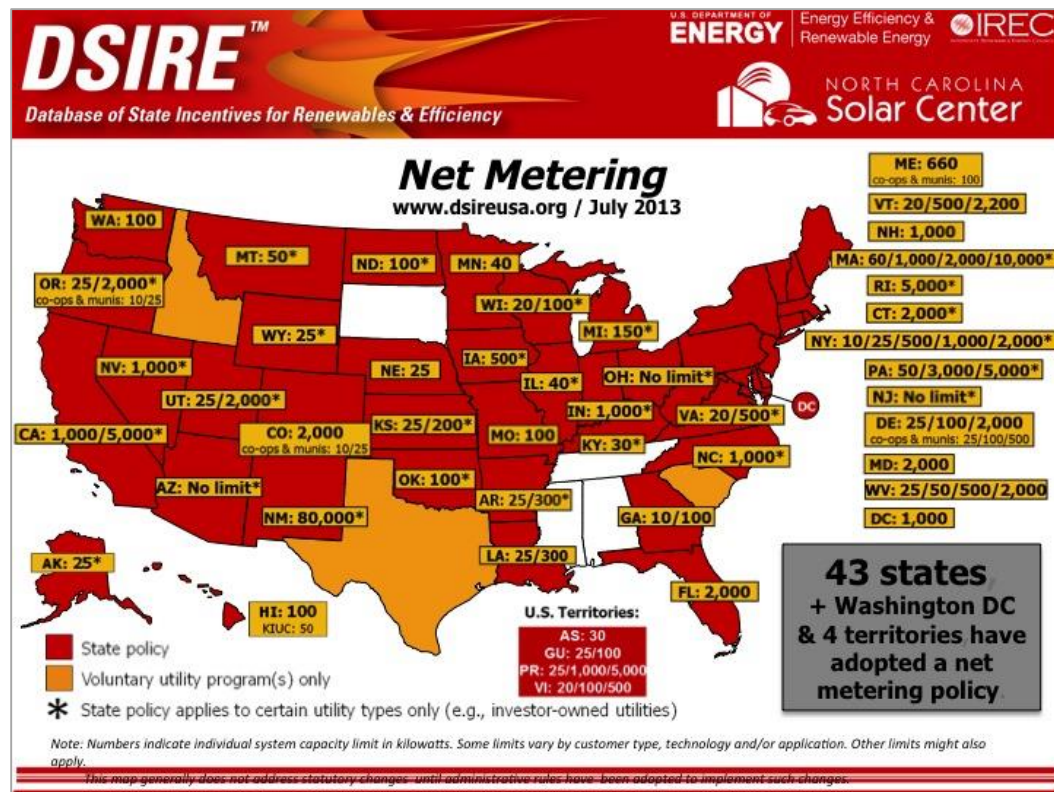
En el caso particular de equipos de energía solar, el periodo de depreciación es de cinco años; sin embargo, para equipos que hayan sido beneficiados con el ITC, el propietario debe deducir el 85% de su base fiscal, es decir, reducir la base de depreciación un 15% (SEIA, 2016).

La finalidad última de este incentivo es brindar mayor certeza a los inversionistas, reduciendo la carga fiscal y acelerando la tasa de retorno de los proyectos de energía solar, permitiendo el crecimiento de la industria.

5.2.3 Medición neta (Net Metering)

La medición neta es un incentivo que ha facilitado el crecimiento de las instalaciones de energía solar fotovoltaica rooftop, en techos, para clientes residenciales de los Estados Unidos; consiste en un mecanismo de facturación que permite inyectar la electricidad no consumida a la red de distribución local como un crédito para la energía que el propietario del sistema toma de la misma en horas de no producción, la cual es compensada en la factura de la empresa de servicios públicos local (SEIA, 2016).

Para un usuario acceder a este beneficio, debe contactar la empresa de servicios públicos y firmar un acuerdo para la interconexión, para la cual la compañía garantiza la viabilidad de la medición neta sin afectaciones la red de distribución. En la mayoría de los estados se ha reglamentado la medición neta y en otros, son las empresas de servicios públicos las que han permitido de manera voluntaria su aplicación, lo que hace que haya diferencias entre los estados (SEIA, 2016). Una variación de este mecanismo es la medición bruta (Gross Metering), la cual no funciona como crédito a la energía inyectada a la red sino como un pago realizado por la empresa de servicios públicos al usuario. En la **Figura 5-2** se presenta el mapa de implementación de la medición neta en los Estados Unidos al año 2013.

Figura 5-2: Mapa de implementación de medición neta en Estados Unidos.**Fuente:** Tomado de SEIA (2016)

5.2.4 Solar-as-a-service

En los Estados Unidos, el amplio apoyo a la energía solar fotovoltaica hizo que inversionistas privados comenzaran a interesarse en la instalación de sistemas rooftop en ubicaciones comerciales y residenciales, ofreciendo la venta de sistemas o contratos de venta de energía de largo plazo con sistemas propios (Third-Party-Owned – TPO), lo que Overholm (2015) llama solar-as-a-service.

El objetivo de los sistemas TPO es ofrecer servicio de energía solar fotovoltaica a los clientes mediante la firma de contratos de largo plazo con propietarios de edificaciones o los usuarios de los mismos para financiar, instalar y administrar paneles solares en los techos de los edificios, abasteciéndolo así de energía eléctrica. Este modelo de negocio ha dominado en Estados Unidos gracias a la eliminación de riesgos, complejidad de la tecnología, necesidades de financiamiento y costos de aprendizaje para los clientes de la energía solar.

Las compañías que ofrecen este servicio, lo hacen de manera integral, firmando contratos que normalmente son de 15 o 20 años mediante dos modalidades: Leasing o Power Purchase Agreement (PPA). En los contratos mediante Leasing, se pacta un pago constante durante toda la vigencia del contrato y la compañía garantiza una cantidad mínima de energía solar; por su parte en los PPAs, los pagos varían de acuerdo con el consumo del cliente, expresado en \$/kWh.

Teniendo en cuenta que en este modelo de negocio el propietario del sistema solar fotovoltaico es la compañía de energía, todos los beneficios e incentivos estatales y federales que están orientados a fomentar la instalación, tales como el ITC y los RECs son para él y no para el cliente final.

Si se compara la adquisición de energía por medio de este modelo de negocio con la suministrada por la red tradicional, desde el punto de vista del cliente, se pueden apreciar beneficios como tarifas más bajas por kWh, tarifas fijas garantizadas durante la duración de los contratos y credenciales verdes. Además, si se compara con los modelos de negocio basados en la propiedad del sistema por parte del cliente, se evitan altos costos de inversión inicial, esfuerzos de diseño, compra, instalación y trámites de permisos, y preocupaciones por la operación y mantenimiento de los equipos.

Aunque este modelo de negocio es ideal para clientes con menores capacidades financieras para realizar la inversión inicial en proyectos de energía solar fotovoltaica, según indica Overholm (2015), también es aplicable a usuarios que prefieren la simplicidad y evitar riegos y responsabilidades, o que no consideran la energía solar su core de negocio; este es el caso de Staples, una compañía distribuidora de artículos de oficina en Massachusetts, quien fue uno de los primeros clientes de este modelo de negocio en los Estados Unidos.

Datos del año 2013, indican que el 66% de las instalaciones solares fotovoltaicas en los Estados Unidos son basadas en Third-party-Ownership, teniendo en cuenta que el modelo de negocio aún no estaba aprobado en todos los estados; si se observan estados como Arizona o Colorado, donde estaba aprobado, se alcanza una participación del 80% aproximadamente (Overholm, 2015).

Desde el punto de vista de la operación de las compañías, Overholm (2015) expone que:

- En algunos casos, son ellas mismas quienes aportan los recursos financieros, pero la mayoría dependen de recursos de terceros.
- Normalmente venden directamente al cliente, aunque algunas tienen socios para llegar al mercado.
- Usualmente las actividades de ingeniería, compra y construcción (EPC por sus siglas en inglés), son tercerizadas; aunque algunas tienen sus propias capacidades in-house.
- Todas las compañías dirigen la integración de múltiples actores para entregar al cliente el servicio, actuando como directores de proyectos.

5.2.5 Caso SolarCity

SolarCity es una compañía proveedora de servicios de energía a pequeña escala en los Estados Unidos a clientes residenciales, comerciales y organizaciones gubernamentales, líder del mercado; fundada en el año 2006, actualmente tiene clientes en 27 estados y Washington DC. (SolarCity, 2016).

SolarCity ofrece a sus clientes servicios verticalmente integrados como fabricación de módulos, montaje, ventas, instalación, financiamiento, monitoreo y mantenimiento (SolarCity, 2016), mediante diversas opciones para el autoconsumo de energía eléctrica, PPAs, Leasing, compra de sistemas y posibilidad de préstamo para la compra (Abella et al., 2015).

En la **Tabla 5-2** se presentan los cuatro modelos de negocio de SolarCity.

Tabla 5-2: Modelos de negocio SolarCity.

Fuente: Tomado de SolarCity (2016).

	Purchase	Loan	PPA	Leasing
Inversión inicial	Valor del sistema	\$0	\$0 con opción de prepago completo o parcial	
Propiedad	Cliente		SolarCity	
Crédito fiscal (ITC)	Si		No	

	Purchase	Loan	PPA	Leasing
Pago mensual	No aplica	Fijo con opción de prepago del 30% en el mes 18	De acuerdo a la energía producida con reajuste anual entre 0 y 2,9%	Fijo con reajuste anual entre 0 y 2,9%
Producción garantizada	Si		No	Si
Monitoreo energético con MySolarCity app	Si			
Duración del contrato	A un pago	10 o 20 años	20 años	

5.3 Japón

A raíz del accidente en Fukushima, Japón, en marzo de 2011, las políticas energéticas de Japón se han dirigido a fomentar el ingreso de fuentes de energía renovables en el mediano y largo plazo; tanto así, que en la actualidad se habla de una capacidad instalada de aproximadamente 1,7 GW, de los cuales 1,6 GW corresponden a energía solar fotovoltaica (Kumar Sahu, 2015).

Algunas metas indican que para el año 2030, se contará con una porción de entre el 25 y el 35% de energía renovable, inversiones de aproximadamente USD 700 billones y que para el 2050 el 100% de la energía consumida será de fuentes renovables, actualmente el consumo anual de energía solar fotovoltaica no alcanza el 1%, con entre 4 y 5 TWh (Kumar Sahu, 2015).

Un incentivo importante para la energía solar fotovoltaica es un subsidio de ¥ 35.000 (aproximadamente USD 340) por kW instalado en sistemas residenciales. Por otro lado, fue implementado un Feed-In Tariff muy atractivo para la energía solar fotovoltaica de 42 ¥/kWh (USD 0,4 aproximadamente) para sistemas por debajo de 10kW y de 40 ¥/kWh para

sistemas con capacidad superior; se dice que con esto, la capacidad solar fotovoltaica podría llegar a un 6 u 8% del total de suministro de energía debido a que el FiT es muy alto para los inversionistas en el periodo de 20 años ofrecido (Kumar Sahu, 2015).

También fue introducido el programa de compra de excedentes de energía solar fotovoltaica, provocando que casi el 100% de los sistemas en aplicaciones distribuidas y residenciales fueran conectados a la red.

5.4 Italia

Una de las prioridades políticas de Italia es el cambio climático y para mitigarlo Italia se ha adherido a metas internacionales de reducción en la emisión de gases efecto invernadero, que podrían alcanzarse por medio de la inclusión de energías renovables a su portafolio nacional.

La meta de corto plazo es alcanzar una proporción del 17% en energías renovables para el 2020 (Kumar Sahu, 2015) y dado que las políticas han sido un instrumento muy importante en Europa para alcanzar esta clase de metas, algunas de las implementadas en Italia son:

- Certificados verdes.
- Feed-In Tariffs.
- Primas de mercado.
- Subastas inversas para nuevos proyectos.

Según información del gobierno, Italia cumplió la meta en el 2011 (8 años antes) y ahora espera lograr una proporción del 35% (Kumar Sahu, 2015).

A pesar de lo anterior, Kumar Sahu (2015), indica que el apoyo ha sido poco claro y ha tomado rumbos distintos como consecuencia de los cambios de gobierno.

Para el caso de la energía solar fotovoltaica, la cual predomina gracias a los buenos incentivos y alta radiación solar, se implementó un Feed-In Tariff conocido como “Conto Energia”, el cual permitió la adición de 4 GW en el año 2011 (Kumar Sahu, 2015). Tales FiT varían entre €0,106 y €0,182 /kWh dependiendo del tamaño y ubicación del proyecto,

fomentando además el autoconsumo mediante el otorgamiento de primas de entre €0,024 y €0,100 /kWh si la energía no se inyecta a la red.

Con el objetivo de aumentar la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica, el gobierno incluyó dos incentivos adicionales; la medición neta para proyectos de capacidades inferiores a 200 kW, recibiendo una contraprestación por la generación de electricidad, y una política de impuestos, que permite a los propietarios de los sistemas en techos (rooftop) con capacidades menores a 20 kW, deducir entre el 30 y el 50% del costo de capital del sistema en un periodo de 10 años.

5.5 Tailandia

Tailandia lidera el sureste de Asia en el desarrollo de energía solar, tanto con capacidad instalada como en disponibilidad de personas capacitadas en esta tecnología (Tongsopit, Mounghareon, Aksornkij, & Potisat, 2016).

El mecanismo más importante utilizado por el gobierno tailandés ha sido el Feed-In Tariff, el cual en sus inicios tenía un comportamiento de prima (Premium-price FiT), pagándose una tasa adicional por encima del precio de la empresa de servicios públicos por cada kWh producido y que posteriormente evolucionó a una tarifa fija (fixed-price FiT). La medición neta, aunque fue incluida como parte de las políticas, a la fecha sigue sin regulación que permita su aprovechamiento.

Según indican Tongsopit et al. (2016), en Tailandia se han implementado cuatro modelos de negocio: Roof rental, Comunidades solares, PPA solar y Leasing solar, estos dos últimos adoptados a partir de las experiencias de Estados Unidos y Australia.

5.5.1 Roof rental

Este modelo de negocio surgió cuando las compañías no energéticas vieron una oportunidad de negocio al arrendar sus techos existentes para permitir la instalación de sistemas solares fotovoltaicos y la venta de electricidad a la red al FiT constante regulado.

El funcionamiento es simple, el propietario del techo firma un contrato de arrendamiento, normalmente a 25 años, con el desarrollador del proyecto solar, quien a su vez firma un PPA por el mismo plazo con la empresa de servicios públicos (Tongsopit et al., 2016). El

desarrollador instala y opera el sistema, entregando cada kWh producido a la red y recibiendo el FiT correspondiente; entre tanto, el propietario de techo recibe en contraprestación, el canon de arrendamiento mensual pactado y no tiene ningún tipo de responsabilidad sobre los equipos.

5.5.2 Comunidades solares

De la misma forma que el modelo de negocio Roof rental, las comunidades solares en Tailandia surgieron con el propósito de obtener ganancias por medio del FiT; es así como una comunidad, grupo de propietarios, acuerdan cooperar para producir energía solar fotovoltaica por medio de pequeños sistemas, en los techos de cada casa, interconectándolos entre sí para venderla a la red.

Coughlin et al. (2010), definen una comunidad solar como un sistema solar que suministra electricidad y/o beneficios financieros a múltiples miembros de una comunidad propietaria del mismo. Las comunidades solares han permitido el acceso a la energía solar fotovoltaica, incluso a consumidores sin el espacio suficiente para alojar los equipos, mediante la asociación con otros miembros de la comunidad que sí lo tienen.

De acuerdo con Tongsopit et al. (2016), un ejemplo de una comunidad en Tailandia, recibe financiamiento del 85,5% del valor total del sistema por parte de una organización pública a una tasa muy baja, mientras el capital restante proviene de una compañía EPC (Engineering, Procurement & Construction), que también es la encargada de la instalación. La comunidad es quien actúa como propietaria, administra el sistema de manera integral y recibe el FiT que le sirve para cubrir los gastos de la deuda, operación y mantenimiento y obtener rentabilidad.

5.6 Australia

Australia no se encuentra dentro de los países que lideran a nivel mundial la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica, debido a su bajo nivel de inversión en centrales solares a gran escala. No obstante, según el Australian Energy Council (2016), los índices de penetración de instalaciones solares fotovoltaicas en el sector residencial australiano son los más altos del mundo con un 15%, duplicando al segundo, Bélgica con 7,45% y superando a Alemania, Reino Unido, Italia, entre otros.

Datos del Australian Energy Council (2016), indican que más de una casa de cada siete cuentan con sistemas solares fotovoltaicos rooftop; en territorios como Queensland, Australia sur y Brisbane y Adelaide, el índice de penetración alcanza el 25, 24 y 50% respectivamente, y que, además Australia ocupa el sexto lugar en capacidad instalada de energía solar per cápita, detrás de Alemania, Italia, Bélgica, Grecia y Argentina.

Históricamente, Australia ha dependido de fuentes de energía con altas tasas de emisión de gases efecto invernadero, como el petróleo, el carbón y el gas natural, cuya participación conjunta alcanza el 90% (Australian Energy Council, 2016), esto es agravado por el relativamente alto consumo de energía per cápita. Dadas las preocupaciones del gobierno, en el año 2011 fue puesto en marcha el “Australian Renewable Energy Target” (RET), planteando tres objetivos claros: fomentar la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, reducir las emisiones de gases efecto invernadero en el sector eléctrico y promover el desarrollo industrial de energías renovables (Chapman, McLellan, & Tezuka, 2016).

El RET opera en dos sectores, los objetivos de energía renovable a gran escala (LRET, por sus siglas en inglés) y el esquema de energía renovable a pequeña escala (SRES, por sus siglas en inglés); el primero tiene como foco de atención el crecimiento a gran escala, con proyectos como granjas eólicas, mientras el segundo aspira lograr el crecimiento en proyectos a pequeña escala con tecnologías como la solar fotovoltaica. Cómo un todo, el RET aspira lograr un 20% de electricidad a partir de recursos renovables en el año 2020 (Chapman et al., 2016).

Dos mecanismos que han permitido alcanzar la política energética, aumentar el número de instalaciones en el sector residencial y lograr un pequeño aporte en la meta de reducción de emisiones consignadas en el protocolo de Kyoto, son los Renewable Energy Certificates (RECs) y los Feed-in-tariff (FiT).

- **Small-scale technology certificates (STCs):** El SRES generó un incentivo financiero para la instalación de pequeños sistemas de energía renovable, como los solares fotovoltaicos, en individuos y pequeños negocios mediante la creación de los STCs, una especie de RECs, que pueden ser entregados a tales instalaciones de acuerdo con su ubicación geográfica, fecha de instalación y cantidad de energía generada

(MWh); un STC equivale a un MWh de energía renovable generada o desplazada por el sistema (Clean Energy Regulator, 2016).

Estos certificados deben ser adquiridos obligatoriamente por individuos o compañías que compren energía de la red y cuya capacidad instalada supera los 100 MW (Clean Energy Regulator, 2016), tales personas también tienen la posibilidad de comprar certificados LGC, que son los equivalentes a los de energía renovable a gran escala (LRET); el precio de los certificados obedece a mecanismos de oferta y demanda en el mercado y fluctúan diariamente.

- **Feed-in tariff:** De acuerdo Chapman et al. (2016), los FiT fueron introducidos en Australia en el año 2008, su administración está a cargo de los gobiernos estatales y se toma como un incentivo adicional para los propietarios de viviendas con sistemas solares fotovoltaicos rooftop, los cuales pueden obtener una tarifa (FiT) por la electricidad generada en exceso por sus sistemas.

5.6.1 Empresas de energía solar en Australia

Dados los incentivos creados por el gobierno australiano, se ha propiciado la creación de un mercado importante en sistemas de paneles solares fotovoltaicos para clientes residenciales, especialmente en las regiones de Queensland, Australia sur, Brisbane y Adelaide.

Compañías como True Value Solar, Green Engineering, Origin Energy, Solar Juice, Solar Gain, entre muchas otras, ofrecen a sus clientes residenciales el suministro de sistemas fotovoltaicos a la medida, los cuales en muchos casos incluyen baterías para el almacenamiento de electricidad para uso en horas de nula o poca producción; modelos de solar-as-a-service, como PPAs o Leasing solares no se encuentran maduros y sólo algunas empresas lo ofrecen, como es el caso de Origin Energy con su plan PPA, en los cuales los clientes pagan por la energía producida y no deben realizar inversiones iniciales.

Algunos servicios adicionales ofrecidos por las compañías, incluyen financiación de los sistemas solares para pago en cuotas y mantenimientos por solicitud del cliente.

Durante este capítulo fueron reportados los datos de los países como mayor desarrollo alrededor de las energía renovables y detalladas las experiencias, iniciativas, políticas e incentivos implementados en Alemania, Estados Unidos de América, Japón, Italia,

Tailandia y Australia. En el siguiente capítulo se caracterizarán los esquemas de inversión identificados a partir de los casos de estos países.

Capítulo 6. Caracterización de esquemas de inversión

La caracterización de los esquemas de inversión en energía solar fotovoltaica en el sector residencial, se realizará descomponiéndolos en dos partes: Modelos de negocio y Mecanismos de financiación, tomando como base fundamental las características y experiencias de los países descritas en el capítulo anterior e incluyendo algunas otras referencias importantes. Ambas partes de los esquemas de inversión serán más adelante el fundamento para analizar su aplicabilidad en el mercado energético colombiano y sugerir ajustes en regulación y demás aspectos para permitir su rápida difusión.

6.1 Modelos de negocio

Según Karakaya et al. (2016), un modelo de negocio explica como una compañía crea valor económico, describiendo factores relacionados con la oferta, el mercado, la estrategia, las capacidades internas, la competencia y los inversionistas; o bien, un modelo de negocio puede definirse sencillamente como la forma en que una compañía genera dinero (Frantzis et al., 2008). En el presente trabajo, definiremos modelo de negocio como “la descripción de mecanismos por medio de los cuales una compañía genera valor para sus inversionistas y clientes, con aspectos como tipo de clientes, propiedad de activos, formas de generar ingresos, entre otros”.

Se realizará la definición de cinco modelos y sus posibles variantes o combinaciones: Suministro de sistemas de generación solar, Leasing solar, Power Purchase Agreement solar, Rent-the-space y Comunidades solares, mediante la descripción del comportamiento de seis componentes: Compañía energética, Cliente o consumidor, EPC (Engineering, Procurement & Construction), Financiación y aseguramiento, Empresa de servicios públicos y Gobierno. De igual manera, se describirán posibles potenciadores, barreras y riesgos en la implementación.

Compañía energética: En el presente trabajo y para todos los casos, la compañía energética es la empresa que se encarga del liderazgo de proyectos de energía solar fotovoltaica de tipo rooftop, la cual no debe confundirse con una empresa de servicios públicos tradicional. Los modelos de negocio de este tipo de compañía podrán ser tan simples como el suministro de los sistemas solares, hasta la propiedad de los mismos y que siempre tendrá participación en todo el proceso de instalación como líder de proyectos, sea con capacidades in-house o con apoyo de un tercero, EPC.

Cliente o consumidor: Un cliente o consumidor es toda aquella persona interesada en abastecerse o prestar el servicio de generación de energía solar fotovoltaica a partir de la instalación de un sistema en el techo de una edificación de su propiedad o sobre la cual tiene derechos de uso.

EPC (Engineering, Procurement & Construction): Una compañía EPC es una firma especializada en servicios de ingeniería, compra y construcción de sistemas solares fotovoltaicos rooftop, la cual podrá encargarse del diseño, instalación y puesta en marcha de los proyectos en las edificaciones de los Clientes o consumidores de la Compañía energética.

Financiación y aseguramiento: La financiación es entendida como los mecanismos o compañías encargadas del aporte de capital necesario para la ejecución de proyectos de energía solar fotovoltaica, incluye bancos, fondos de inversión, entre otros. El aseguramiento son los proveedores de seguros a equipos y edificaciones, con el fin de cubrir los riesgos asociados a la implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica.

Empresa de servicios públicos: Compañía prestadora del servicio de energía eléctrica tradicional a través de redes de distribución. La interacción con este tipo de empresas es requerida para aspectos como la interconexión de sistemas distribuidos a la red y la implementación de mecanismos como medición neta o FiT.

Gobierno: Entes gubernamentales, locales o nacionales, encargados de otorgar permisos y otros aspectos relevantes para la ejecución de proyectos de energía solar fotovoltaica de manera distribuida.

En la **Tabla 6-1** se resumen los posibles modelos de negocio identificados, en todo caso, la instalación se toma como liderada por la compañía energética, bien sea con apoyo del

EPC o con recursos y capacidades propias, la duración de los contratos a 20 años, cuando aplique, tomando un estimado de vida útil de los equipos de 25 años, aunque podrían ofrecerse plazos entre 10 y 25 años.

Tabla 6-1: Modelos de negocio solar.**Fuente:** Elaboración propia.

	Suministro de sistema con O&M	Suministro de sistema sin O&M	Préstamo solar con O&M	Préstamo solar sin O&M	Leasing solar	PPA solar	Rent-the-space	Comunidad solar (suministro con O&M)	Comunidad solar (suministro sin O&M)	Comunidad solar (Leasing)	Comunidad solar (PPA)
Inversión inicial	Valor del sistema	Valor del sistema	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	Valor del sistema	Valor del sistema	\$ 0	\$ 0
Propiedad	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética	Compañía energética	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética
Incentivos y/o beneficios	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética	Compañía energética	Cliente o consumidor	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética
Operación y mantenimiento	Compañía energética	Cliente o consumidor	Compañía energética	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética	Compañía energética	Compañía energética	Cliente o consumidor	Compañía energética	Compañía energética
Producción garantizada	No	No	No	No	Si	No	No aplica	No	No	Si	No
Pago mensual	\$ 0	\$ 0	Fijo con opción de cuotas extras	Fijo con opción de cuotas extras	Fijo con posibilidad de reajuste anual	Variable por consumo con posibilidad de reajuste anual	No aplica	\$ 0	\$ 0	Fijo con posibilidad de reajuste anual	Variable por consumo con posibilidad de reajuste anual
Duración del contrato	20 años	No aplica	20 años	20 años	20 años	20 años	20 años	20 años	No aplica	20 años	20 años
Terminación del contrato	Renovación	No aplica	Renovación	No aplica	Renovación Desmonte Compra	Renovación Desmonte Compra	Renovación Desmonte Compra	Renovación	No aplica	Renovación Desmonte Compra	Renovación Desmonte Compra

6.1.1 Suministro de sistemas de generación solar

Este primer modelo de negocio es el más sencillo y consta del suministro del sistema solar fotovoltaico a clientes o consumidores con capacidades de adquisición considerables o que se encuentran interesados en involucrarse un poco más a fondo con la tecnología. El sistema se toma como un producto atado necesariamente al servicio de instalación, ejecutado por la compañía energética.

Una vez el cliente demuestra interés, la compañía energética realiza análisis de la necesidad, visita la ubicación y propone una solución para satisfacerla, esta solución es particularizada basada en las condiciones físicas de la edificación, necesidades de consumo, entre otros factores; si esta solución es aceptada por el cliente, se firma el contrato de compra e instalación. Existe la posibilidad de contratar la operación y mantenimiento del sistema por un periodo dado, que normalmente es de 20 años, o dejarla a demanda.

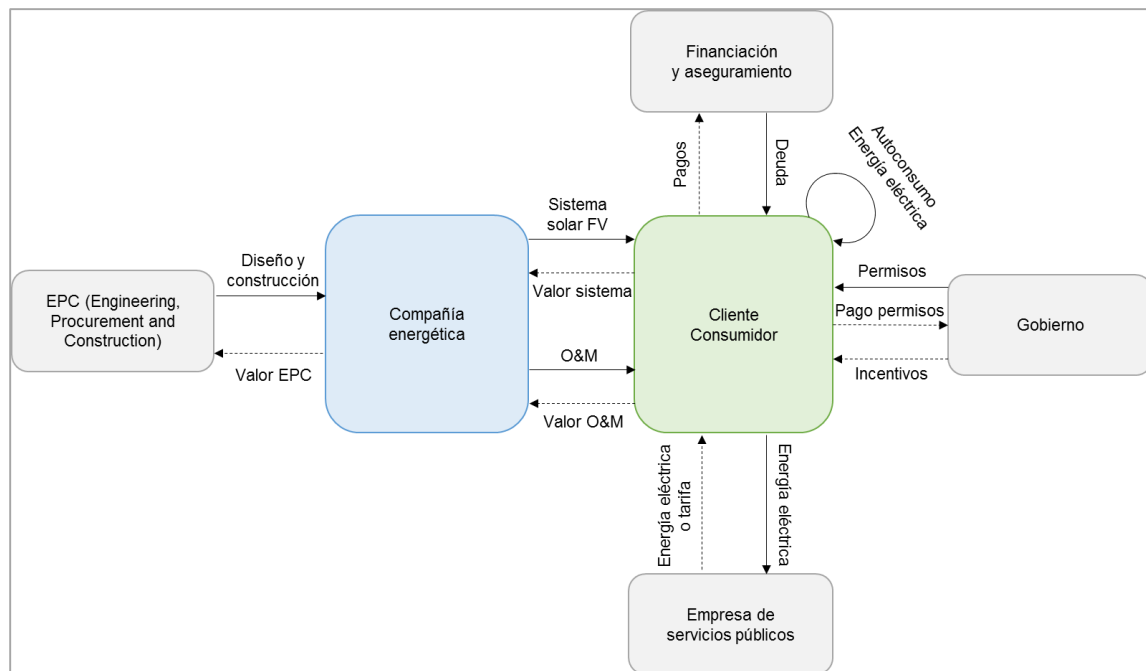
La financiación y aseguramiento, si aplica, están a cargo del propietario del sistema y es él quien debe gestionar su aprobación, aunque un modelo alternativo consiste en el préstamo directamente con la compañía energética, pactando un plan de pago mensual con posibilidad de cuotas extraordinarias.

Los trámites con entidades gubernamentales previos a la instalación, tales como permisos de instalación e interconexión, están a cargo del propietario del sistema. Además, los incentivos o beneficios, que ofrezca el gobierno para promover la incorporación de energías renovables también son para el cliente, en su calidad de propietario.

Generalmente, este tipo de sistemas son adquiridos para autoconsumo de energía eléctrica por parte del cliente, aunque éste tiene la posibilidad de gestionar la interconexión a la red local para inyectar energía sobrante o aprovechar beneficios como la medición neta, cuando se encuentren regulados.

El pago del cliente a la compañía energética corresponde a la venta e instalación del sistema, y en los casos que la compañía financie el proyecto, se adicionará el pago de la deuda según el plan de pagos.

En la **Figura 6-1** se presenta el modelo de negocio de forma gráfica.

Figura 6-1: Modelo de negocio: Suministro de sistemas solares fotovoltaicos.**Fuente:** Elaboración propia.**Potenciadores:**

- Clientes con grandes capacidades financieras e interés por energías renovables.
- Disminución en los costos de materiales y equipos para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos.
- Obtención directa de beneficios regulatorios como medición neta, FiT, incentivos tributarios, entre otros.
- Independencia de compañías energéticas.

Barreras:

- Sistemas intensivos en capital financiero inicial.
- Preocupación por parte del propietario por la operación y mantenimiento o costos adicionales por la contratación de los mismos.

Riesgos:

- No obtención de beneficios esperados, como ahorros, incentivos de ley, entre otros.
- Mala calidad de los equipos.
- Daños en las edificaciones o equipos.

6.1.2 Leasing solar

El Leasing solar es un tipo de arrendamiento financiero del sistema solar fotovoltaico a un cliente interesado en auto abastecerse de energía eléctrica sin necesidad de una inversión inicial, bien sea por falta de recursos económicos o poco interés en su adquisición.

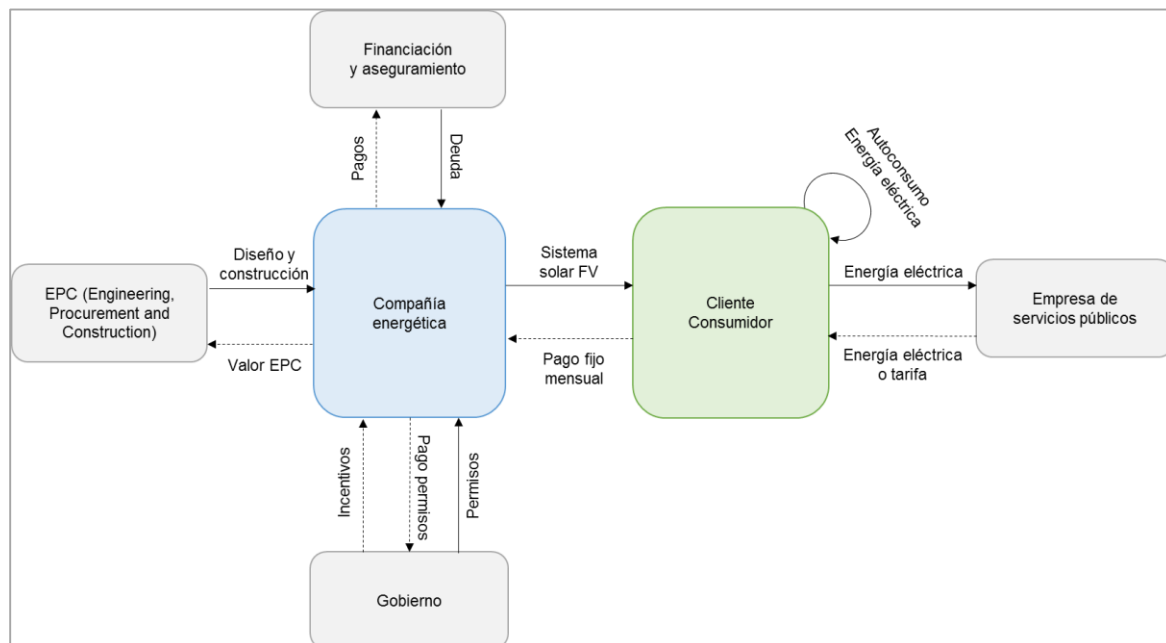
En este modelo de negocio, las principales actividades giran en torno a la compañía energética, pues es ella quien debe diseñar, instalar, operar y mantener el sistema con base en las necesidades específicas del consumidor final, gestionar los permisos y tramites con entidades del gobierno, asegurar el sistema ante daños en los equipos y edificaciones, y en caso que se requiera, obtener los recursos financieros para su ejecución.

Nuevamente, existe la posibilidad de interconexión a la red de distribución para aprovechar beneficios por inyección de energía sobrante si se encuentran implementados.

Gráficamente, el modelo se ilustra en la **Figura 6-2**.

Figura 6-2: Modelo de negocio: Leasing solar.

Fuente: Elaboración propia.



Potenciadores:

- Compañías con experiencia previa en modelos de Leasing en otro tipo de productos, como casas, carros y equipos, interesadas en prestar el servicio de Leasing solar.
- Gran proporción de clientes potenciales que no tienen las capacidades financieras para la inversión inicial en un sistema solar fotovoltaico.

Barreras:

- Poca factibilidad del modelo en sistemas pequeños debido a que, en muchos casos, los ahorros no alcanzan a cubrir la obligación generada en el contrato de Leasing.
- Se requieren incentivos adicionales, como, por ejemplo, incentivos fiscales o tasas de interés subsidiadas, en especial para el sector residencial.

Riesgos:

- No pago de las obligaciones del contrato de Leasing por parte del cliente.
- Si el sistema no genera la energía esperada, se obtienen bajos niveles de ahorros o ingresos por FiT.
- Necesidad del espacio en los techos para otros usos.

6.1.3 Power Purchase Agreements de energía solar

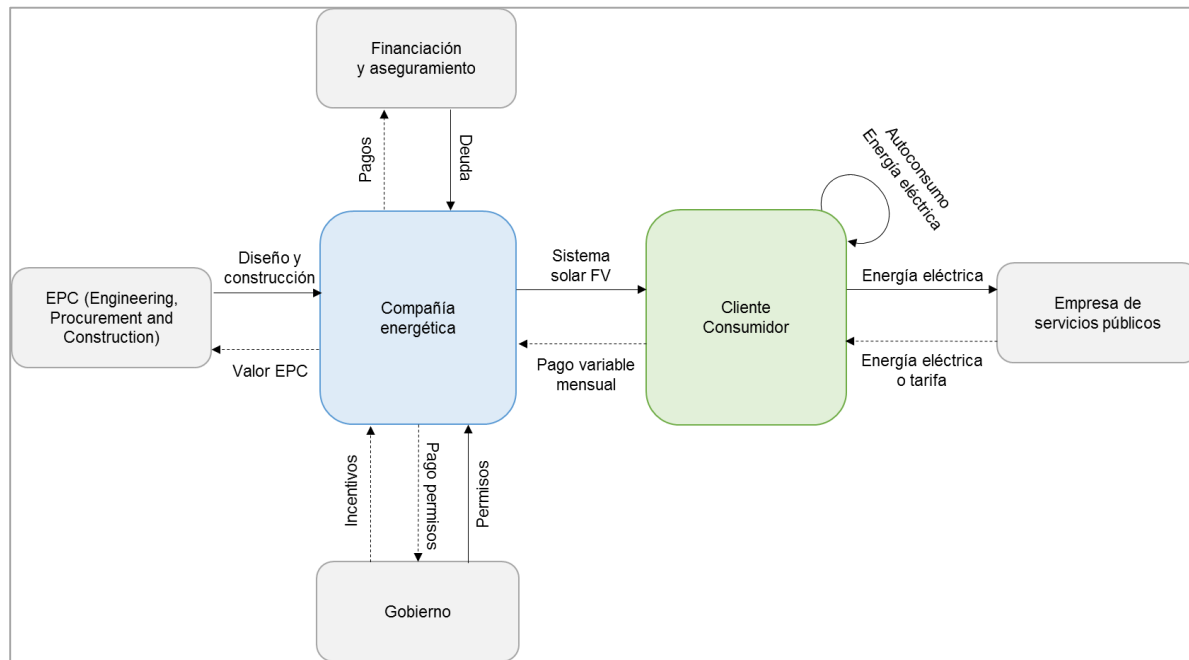
El modelo de negocio PPA tiene un comportamiento similar al modelo de Leasing solar, aunque la principal diferencia radica en que lo que se adquiere no es el arrendamiento de los equipos sino la energía eléctrica que estos producen, sin garantizar un mínimo, es decir que el cliente final paga lo que consume realmente, en el contrato debe quedar claramente estipulado el valor de cada kWh y los reajustes a que haya lugar.

Nuevamente los trámites con entidades de financiamiento, aseguramiento y gobierno son responsabilidad de la compañía energética; además, es permitida la interconexión con la empresa de servicios públicos para sacar provecho de los beneficios que se implementen.

En la **Figura 6-3** pueden observarse los principales componentes del modelo de negocio.

Figura 6-3: Modelo de negocio: Power Purchase Agreement solar.

Fuente: Elaboración propia.



Potenciadores:

- Éxito probado de los PPAs en otros países como Estados Unidos, lo que permite transferencia de conocimiento.
- Gran utilidad para usuarios con grandes consumos o picos de energía eléctrica.
- Altas probabilidades de aumentos en los costos de la energía eléctrica de las redes de distribución tradicionales.
- Operación y mantenimiento incluidos en el costo del PPA.

Barreras:

- Incertidumbre sobre la legalidad de este modelo de negocio debido a que no se encuentra explícitamente regulado que una compañía no clasificada como empresa de servicios públicos, pueda ofrecer este tipo de contratos.

Riesgos:

- Si los precios de la electricidad no crecen tan rápido como indican las predicciones, se afecta la rentabilidad.
- Disminución de la carga en la edificación y falta de mecanismo de medición neta, provocando sobreproducción desperdiciada o inyectada a la red sin contraprestación económica.
- Necesidad del espacio en techos para otros usos.

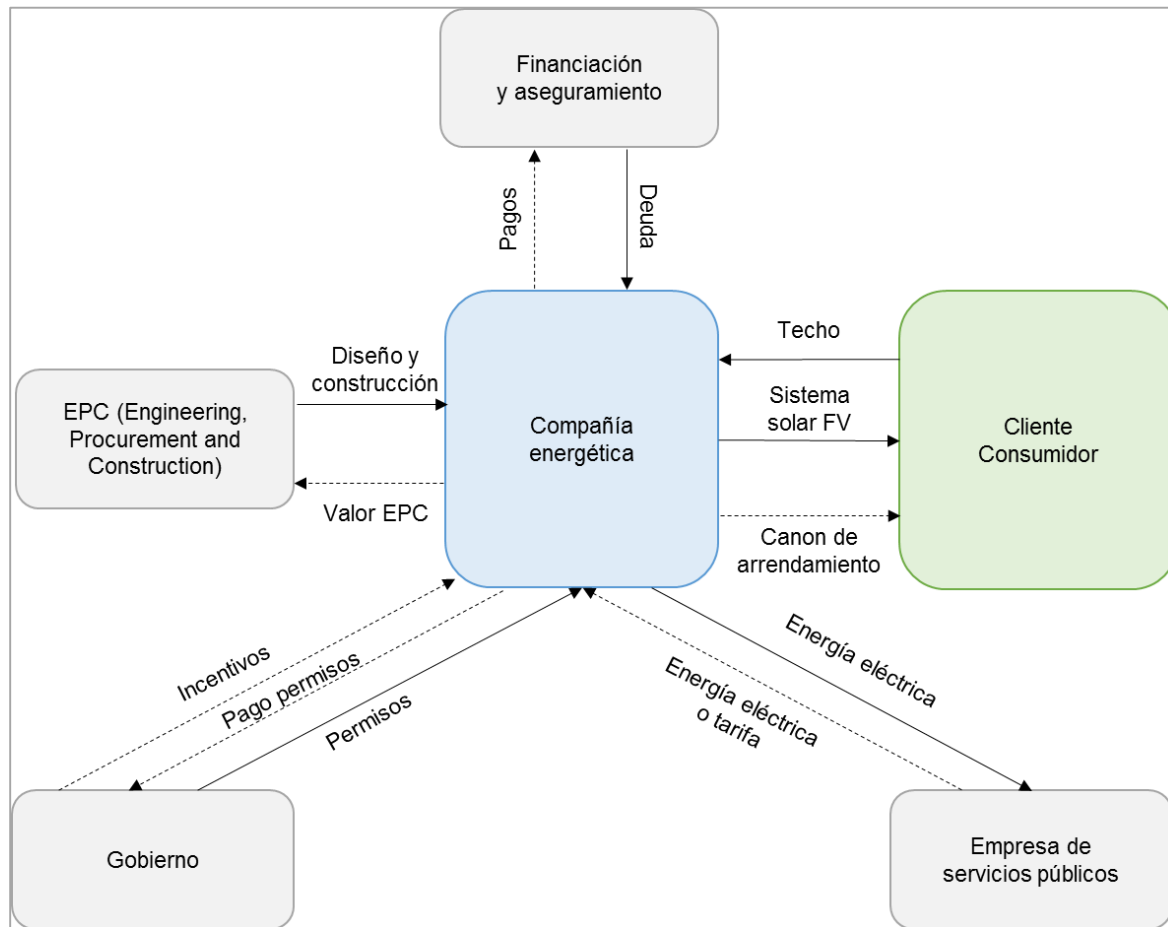
6.1.4 Rent-the-space

El modelo de negocio rent-the-roof o rent-the-space, más que un modelo orientado al autoconsumo de energía eléctrica, consiste en un mecanismo que facilita la construcción de un sistema solar fotovoltaico en techos de edificaciones existentes, con el propósito de inyectar la electricidad generada a la red o abastecer un tercero que se encuentra ubicado cerca al sistema.

El cliente en este caso sólo tiene la responsabilidad de permitir a la compañía energética instalar y operar un sistema distribuido en el techo de su edificación como contraprestación a un canon de arrendamiento periódico.

La compañía energética, al ser la propietaria de la instalación y la beneficiada por la energía eléctrica generada, es quien debe hacerse cargo de los permisos e interconexión con la red de la empresa de servicios públicos para entregar la producción; de igual manera, es ella quien recibe incentivos gubernamentales por ejecución de proyectos de energías renovables, así como el titular de deudas de financiación o aseguramiento del sistema y la propiedad arrendada.

La **Figura 6-4** sintetiza el comportamiento del modelo de negocio.

Figura 6-4: Modelo de negocio: Rent-the-space solar.**Fuente:** Elaboración propia.**Potenciadores:**

- Aprovechamiento de grandes espacios en edificaciones.
- Reducción del consumo energético por parte del propietario debido a la disminución en la absorción de calor del techo, lo que reduciría la necesidad de acondicionamiento de espacios en empresas u oficinas.
- Aumento del valor económico de las edificaciones.
- Aprovechamiento de incentivos como el Feed-in tariff.

Barreras:

- Dependencia de un contrato PPA para la venta de energía del sistema.

Riesgos:

- Remodelación posterior en las edificaciones.
- Posibles daños al techo.
- Necesidad del espacio en techos para otros usos.

6.1.5 Comunidades solares

Cuando un grupo de clientes cercanos geográficamente encuentran una oportunidad para beneficiarse de la energía solar, bien sea para autoconsumo o para administrarla como una inversión rentable, se constituyen las llamadas comunidades solares; en estas, se busca aprovechar ventajas ofrecidas por las economías de escala, interconectando pequeños sistemas solares fotovoltaicos en residencias o edificaciones para obtener un sistema de mayor capacidad de generación; la energía eléctrica obtenida puede ser usada para auto abastecerse, inyectarse a la red o una combinación de las dos.

En sí, una comunidad solar no es un modelo de negocio diferente, sino más bien una variación de los anteriores en cuanto a la forma de organizar un grupo de clientes con un fin común, mediante el Suministro de sistemas, Leasing, PPAs o Rent-the-roof.

De acuerdo con Coughlin et al. (2010), existen tres mecanismos de medición neta que facilitan la adopción de las comunidades solares: facturación en grupo, virtual net metering y copropiedad.

- **Facturación en grupo:** La facturación en grupo es similar a la facturación que se realiza para algunos edificios o conjuntos residenciales o comerciales, en los cuales el propietario de la edificación es quien determina la forma de distribuir el costo de la electricidad entre los inquilinos; la diferencia radica en que, con la facturación en grupo para comunidades solares, los participantes no necesitan estar localizados en el mismo edificio.

El operador del sistema fotovoltaico compartido, calcula el consumo de todos los participantes y lo compara con la energía producida por el sistema para realizar las compensaciones pertinentes, luego, el costo restante es distribuido entre los participantes de acuerdo con las reglas previamente establecidas.

Esta forma de medición neta es ampliamente aplicada en Vermont, Estados Unidos, lo que ha permitido la formación de más de 22 comunidades solares (Coughlin et al., 2010).

- **Virtual net metering:** Similar a la facturación en grupo, el Virtual net metering consiste en el aprovechamiento de una comunidad solar para la medición neta de consumos de todos los participantes, que no necesariamente están ubicados en la misma región geográfica, además se diferencia de la facturación en grupo en que cada usuario recibe la factura de manera individual.

Este mecanismo ha sido implementado Maine y California, Estados Unidos, y tiene como requisito básico, que los participantes de encuentren bajo el alcance de la misma empresa de distribución. Para la medición neta, los cargos de distribución no son incluidos en la facturación (Coughlin et al., 2010).

- **Copropiedad:** El objetivo de esta modalidad es la instalación de sistemas de generación a mayor escala de propiedad de una comunidad, obteniendo economías de escala. Para obtener los beneficios de la copropiedad se presentan dos alternativas, venta de energía o virtual net metering.

La primera consiste en la venta de la electricidad generada a compañías de transmisión o distribución a una tarifa dada, actuando como un generador más en el sistema energético, lo que puede generar cargas impositivas a los ingresos y por tanto crear una barrera para su masificación.

La segunda alternativa, Virtual net metering, consiste en la compensación de los consumos del propietario con la generación del sistema en igual proporción a su participación en el mismo.

Estos mecanismos han sido implementados Maine, Colorado y Washington, Estados Unidos (Coughlin et al., 2010).

Potenciadores:

- Poblaciones con fuertes vínculos de comunidad y pensamientos de cooperación.
- Divulgación mediante inspiración del trabajo en equipo entre comunidades.
- Apoyo gubernamental debido a su filosofía de cobertura y distribución del acceso a los servicios y de los ingresos entre la población.
- Posibilidad de implementación en consumidores que no tienen espacio disponible en sus techos para un sistema solar FV.

Barreras:

- Dificultad para obtener los mecanismos de financiación necesarios.

Riesgos:

- Posible no participación de los ingresos por parte de los inversionistas debido a que el vínculo contractual para la obtención de incentivos como FiT o medición neta, se realiza entre las empresas de servicios públicos y los propietarios.
- En caso de que los sistemas sean de mala calidad, se puede generar reducción en los ingresos.

6.2 Mecanismos de financiación

Los mecanismos de inversión a los que se refiere este trabajo, corresponden a la componente “Financiación y aseguramiento” de los modelos de negocio definidos anteriormente, y de los cuales se quiere hacer énfasis debido a la importancia de estos en la masificación de la energía solar fotovoltaica, refiriéndose a estos como la forma en que los clientes obtiene los recursos para optar por la energía solar fotovoltaica como fuente de generación de electricidad. Como lo expresan Abolhosseini & Heshmati (2014), si las energías renovables no tienen una ventaja económica, no serán capaces de competir con las tecnologías convencionales.

A pesar de que el costo de los equipos necesarios para un sistema solar fotovoltaico se ha reducido notablemente en los últimos años, aún existe una barrera importante a la divulgación masiva de sistemas distribuidos de autogeneración de este tipo debido a los altos requerimientos de capital para la inversión por parte de un usuario residencial. Por ello, se hace necesario explorar los mecanismos de financiación más importantes identificados en el mercado con el fin de facilitar la masificación, bien sea mediante la eliminación de inversión inicial o la forma de recuperación de ella.

La **Tabla 6-2**, resume los pros, contras y las etapas de un proyecto de energía renovable en los que serían más aplicables los principales mecanismos de financiación identificados en la literatura; posteriormente serán presentados de manera sintetizada los que fueron introducidos en capítulos anteriores y se detallarán algunos otros, considerados mejores prácticas en países líderes del mercado y relevantes para el objetivo de este trabajo.

Tabla 6-2: Principales mecanismos de financiación identificados.**Fuente:** Adaptación de Lam & Law (2016).

	Self-financing	Ángel inversor	Crowdfunding	Incentivos fiscales	Third Party Financing	Utility & Public Financing	Renewable Portfolio Standards	Capital de riesgo o privado	Préstamos	Emisión de acciones	Bonos de carbono	Feed-in tariff
Pros	Privacidad Control	Interacción directa con inversionistas	Costo inicial bajo Construcción de imagen pública Versátil	Reduce necesidad de capital inicial	Eliminación de la inversión inicial	Bajas tasas de interés	Promueve el crecimiento de energías renovables	Bueno para nueva tecnología probada	Privacidad Control Deducción de intereses en impuestos	Montos grandes	Promueve la reducción de emisiones	Promueve el crecimiento de energías renovables
Contras	Monto limitado	No se ajusta a ampliación del alcance	Divulgación de información Respuesta incierta	Sujeto a controles regulatorios	Pérdida de control	Requieren de tiempo para su implementación Asegurabilidad	Sujeto a controles regulatorios	Necesita un mercado de capitales maduro	Condiciones impuestas Asegurabilidad	Divulgación de información Pérdida de control	Entrega de bonos incierta	Sujeto a controles regulatorios
Diseño e I+D	Mediana aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad									
Pilotos		Mediana aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Baja aplicabilidad								
Puesta en marcha			Mediana aplicabilidad	Mediana aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Baja aplicabilidad	Mediana aplicabilidad				
Crecimiento			Mediana aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Baja aplicabilidad	Mediana aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Mediana aplicabilidad			
Expansión			Poca aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Mediana aplicabilidad		Alta aplicabilidad		Alta aplicabilidad	Alta aplicabilidad	Baja aplicabilidad	Baja aplicabilidad

6.2.1 Self-financing

La autofinanciación es el mecanismo más sencillo de financiación y consiste en la apropiación total de los costos de inversión en un sistema de autogeneración por parte de un cliente o consumidor final, ésta autofinanciación puede darse en clientes con alta capacidad de adquisición o a través de deudas bancarias, donde la entidad financiera puede entregar recursos financieros a ciertos segmentos de clientes, exigiendo garantías como por ejemplo, el respaldo de compañías EPC sobre el rendimiento de los sistemas durante el plazo de la deuda (Tongsopit et al., 2016).

Este tipo de financiación puede ser muy útil en clientes con interés de inversión en sistemas fotovoltaicos, teniendo la propiedad de los mismos y obteniendo la totalidad de los ahorros generados para cubrir la inversión.

Problemas claros de este mecanismo abarcan la poca oferta de créditos con bajas tasas de interés para inversión en energías renovables, debido al desconocimiento de las entidades y el riesgo de no obtener los beneficios en ahorros esperados con el aumento en las tarifas de la energía de la red convencional.

6.2.2 Feed-in-Tariff

Los Feed-in-Tariff permiten asegurar la recuperación de inversiones en sistemas distribuidos de energía renovable mediante una tarifa previamente establecida, para la energía inyectada a la red de distribución, permitiendo compensar los costos iniciales del sistema; dicha tarifa puede ser fija y superior al precio del mercado o una adición al mismo.

Se usa principalmente para acelerar la inversión en energías renovables mediante la oferta de acuerdos de compra de largo plazo para la venta de la electricidad generada con fuentes renovables. Ante esta garantía, los inversionistas privados ven oportunidades de pequeñas inversiones que incrementen su liquidez.

De acuerdo con Abolhosseini & Heshmati (2014), para su correcta implementación se debe garantizar el acceso a las redes, que los PPAs sean estables y de largo plazo, y que los precios se calculen con base en el costo unitario de cada tecnología.

6.2.3 Incentivos fiscales

Los incentivos fiscales son un mecanismo para mejorar el despliegue de energías renovables y reducir la necesidad de capital inicial para la instalación de un sistema de autogeneración.

Los incentivos fiscales pueden aplicarse a la inversión, producción o consumo de la electricidad (Abolhosseini & Heshmati, 2014), estos pueden estar sustentados en excepción de impuestos a compra e instalación de equipos, reducción en impuestos a los ingresos u otra clase de obligaciones fiscales de los propietarios de los sistemas, y subsidios del gobierno. Un ejemplo de este tipo de incentivos es el ITC en los Estados Unidos, presentado en capítulos anteriores.

6.2.4 Renewable Portfolio Standards

Los RPSs (Renewable Portfolio Standards), son una política energética que busca principalmente el crecimiento de energías renovables en los países mediante la imposición de cuotas de energía generada a partir de estas fuentes. A diferencia de los FiT, que están basados en precios, los RPS están fundamentados en cantidad de energía generada, otorgando certificados por cada unidad producida.

Ésta política puede verse como un mecanismo de financiación para pequeños sistemas residenciales debido a que sus propietarios podrían tener acreditación de RECs (Renewable Energy Certificates), que podrían ser transados en el mercado con grandes compañías con la obligación de obtener su objetivo de generación de energía renovable; un caso exitoso es el de Australia con los SRES regulados en el RET, visto en el capítulo anterior. Además, los RPSs han sido de amplio uso en los Estados Unidos, inclusive adicionando multiplicadores a ciertas tecnologías para acelerar su expansión (Abolhosseini & Heshmati, 2014).

Después de analizar la implementación de los RPSs en los Países Bajos, Dinamarca, Italia, Estados Unidos y Australia, Berry & Jaccard (2001), concluyeron que estos son aplicados generalmente a grandes generadores más que a usuarios finales. De igual forma, Abolhosseini & Heshmati (2014), encontraron que los RPSs han ayudado al crecimiento de la tecnología eólica y biomasa más que a cualquier otra.

6.2.5 Third Party Financing

El Third Party Financing o Third Party Ownership (TPO), se produce cuando la propiedad de los sistemas de autogeneración es de un tercero y es este quien instala, posee y administra el sistema, por tanto, el cliente o usuario final no requiere realizar ninguna inversión inicial para la instalación.

Este mecanismo puede presentarse de dos maneras, la primera es mediante los Power Purchase Agreements (PPAs), en los cuales el propietario pacta con el cliente la venta de energía a una tasa estipulada durante la vigencia de la relación contractual, en este caso el cliente paga únicamente por la electricidad realmente consumida y está orientada a clientes con alto consumo y que buscan reducir sus costos de electricidad.

La segunda manera es el Leasing solar, que se diferencia del PPA, en que el usuario no paga por la energía que consume sino por la disponibilidad del sistema de generación mediante un cargo fijo por el arrendamiento de los equipos, con posibilidad de adquirirlo al final de la ejecución del contrato por el valor residual.

6.2.6 Utility & Public financing

Los gobiernos locales y empresas de servicios públicos podrían jugar un papel importante en la adopción de sistemas de autogeneración en sectores residenciales mediante préstamos a bajas tasas de interés, descuentos o reembolsos, y subsidios; para ello, los gobiernos necesitan incrementar el capital mediante la emisión de bonos, por ejemplo, para luego transferir el capital de bajo costo a los usuarios de sistemas rooftop (Tongsopit et al., 2016).

Tongsopit et al. (2016), indican que las empresas de servicios públicos también se han comenzado a interesar en obtener financiación a favor de sus clientes a bajas tasas de interés para ofrecer a sus usuarios participación en grandes centrales o instalación de sistemas en sus edificaciones que puede ser deducidos fácilmente a través de las facturas mensuales. Algunas empresas que ofrecen este mecanismo en los Estados Unidos son Southern California Edison, San Diego Gas & Electric, SoCalGas y Hawaiian Electric Co. (Tongsopit et al., 2016).

Un caso exitoso de Public Financing es el “Property-Assessed Clean Energy Program” (PACE), implementado en los Estados Unidos (Tongsopit et al., 2016). Este consiste en la

posibilidad de que gobiernos locales, estatales u otras autoridades autorizadas por las leyes estatales, financien los costos iniciales de mejoras energéticas en propiedades comerciales o residenciales, permitiendo al propietario pagarla con el tiempo, en plazo de entre 10 y 20 años normalmente e integrando como garantías, la propiedad y el pago a través de la factura de impuestos (US Department of Energy, 2016).

El funcionamiento se resume en la **Figura 6-5**, todo comienza con la creación de una especie de zona factible de implementar el mecanismo llamada “Land-Secured Financing District”, posterior a ello, el propietario interesado solicita voluntariamente la financiación e inicia el proyecto, luego el gobierno provee los fondos necesarios y finalmente el propietario paga la deuda a través de sus impuestos (US Department of Energy, 2016).

Figura 6-5: Funcionamiento del PACE.

Fuente: Tomado de US Department of Energy (2016).



6.2.7 Crowdfunding

Crowdfunding es un mecanismo mediante el cual un grupo de personas realiza un esfuerzo conjunto con el objetivo de apoyar ideas o proyectos de personas u organizaciones a través de una plataforma en la Web, gracias a la entrega de pequeñas cantidades del capital requerido por el emprendedor; en el Crowdfunding se identifican tres tipos de actores, un emprendedor, que puede ser una persona, organización o pequeña empresa y quien es el promotor de las ideas o proyectos y solicita recursos económicos para su implementación, los crowdfunders, quienes apoyan las ideas de los emprendedores con recursos económicos, como donación o inversión, y una plataforma virtual en la cual se realizan las

transacciones de publicación de ideas o proyectos, y entrega de recursos; todo lo anterior sin la necesidad de intermediarios financieros.

Aunque el principal objetivo del Crowdfunding es obtener fondos para la inversión, las plataformas también facilitan el intercambio de información y la retroalimentación y colaboración de los crowdfunders en las ideas de negocio de los emprendedores antes de ponerlas en marcha.

Existen básicamente dos tipos de plataformas de Crowdfunding, las primeras actúan como fideicomiso, en la cual se almacenan los fondos hasta obtener la meta trazada, sino se logra, el dinero es reembolsado a los crowdfunders; la segunda consiste en la entrega del dinero al emprendedor aun cuando no se ha alcanzado la meta.

De acuerdo con Lam & Law (2016), los crowdfunders al momento de invertir su dinero, aunque en pequeñas cantidades, buscan una contraprestación, que puede ser de tipo social, en productos o servicios, reembolsos o rendimientos financieros; es por lo anterior que el Crowdfunding puede clasificarse en cuatro tipos:

- **Donación:** Es aquel en el que los crowdfunders no esperan una contraprestación económica por sus aportes, normalmente se usa para apoyar proyectos o actividades sociales de organizaciones no gubernamentales.
- **Recompensa:** Los crowdfunders son premiados por los emprendedores con regalos simbólicos o pre ordenes de bienes o servicios, producto del proyecto o negocio que se pretende poner en marcha; es muy utilizado por pequeños empresarios que requieren fondos para la fabricación de bienes o prestación de servicios al inicio de las operaciones o lanzamiento de nuevos productos y el dinero recaudado en el Crowdfunding lo usan como capital de trabajo.
- **Préstamo:** En este tipo, se busca que en la plataforma se contacten prestamistas, emprendedores, y prestatarios, crowdfunders, para llevar a cabo un proyecto o idea mediante deudas no aseguradas, los prestatarios deben reembolsar el dinero recaudado de sus crowdfunders en un periodo de corto plazo establecido y con un plan de pagos dado, incrementando el valor con una tasa de interés fija, que normalmente es más alta que una tasa de interés de ahorros, para ser atractiva a los crowdfunders, y menor a una tasa de préstamos bancarios, para que sea de interés para los emprendedores.

- **Capital:** Este último tipo de Crowdfunding, busca ofrecer una especie de participación accionaria de los crowdfunders en las compañías emprendedoras, sin la rigurosidad de una emisión pública de acciones en bolsa; al ofrecer participación en la compañía, las inversiones normalmente son mayores por cada crowdfunder, se puede delegar cierto control de la compañía, las deudas son de largo plazo y los intereses son mayores a los de Crowdfunding de préstamo.

Ahora, teniendo en cuenta la naturaleza riesgosa inherente a los proyectos de energías renovables, para los pequeños empresarios e inclusive los usuarios finales, no es fácil obtener financiación de bancos o capitales de riesgo para la puesta en marcha de los mismos, es por ello que sacando provecho de la extensiva utilización de la Web y el crecimiento vertiginoso de las redes sociales, el Crowdfunding se ha convertido en un mecanismo efectivo y prometedor para obtener capital en forma de donaciones o préstamos para la financiación de energías renovables como la solar fotovoltaica.

Los crowdfunders podrían clasificarse en dos grupos, los de tipo dadivoso y con motivaciones sociales, para el caso de Crowdfunding de donación y recompensa, y los que tienen un pensamiento de retorno financiero a sus inversiones, para el Crowdfunding de préstamo y capital, aunque un subconjunto de estos últimos podría estar interesado en recibir productos o servicios derivados de los proyectos que apoyan en lugar de dividendos o intereses, cuando el sector de negocio los apasiona o logran encontrar un beneficio mayor (Lam & Law, 2016).

Teniendo en cuenta que el objetivo del presente trabajo no tiene un sentido social sino más bien comercial y de inversión, son los crowdfunders del segundo grupo los que revisten mayor interés, y toma importancia para el Crowdfunding de préstamo o capital, tener presente los aspectos de gobierno y propiedad que puedan generar sobre la compañía los crowdfunders.

Crowdfunding es un mecanismo emergente y como todo nuevo negocio tiene sus riesgos y puede tener fallas, a continuación, Lam & Law (2016) listan algunas a tener en cuenta:

- No existe un mercado secundario como en el mercado de valores, lo que puede provocar falta de liquidez en las inversiones de los crowdfunders.
- Dificultad en la trazabilidad de posibles fraudes en línea.

- Falta de garantías por la asimetría de la información.
- Falta de experiencia en inversiones por parte de los crowdfunders.
- Cyber seguridad.
- Plagio de ideas de emprendedores por parte de organizaciones con mayor músculo financiero.
- Contabilidad laboriosa por parte de los emprendedores debido a la cantidad de crowdfunders.

Lam & Law (2016), presentan algunos casos de aplicación del Crowdfunding en proyectos de energías renovables, de los cuales se resumen en la **Tabla 6-3** los que tienen mayor relación con el presente trabajo final.

Tabla 6-3: Casos de Crowdfunding en energías renovables.

Fuente: (Lam & Law, 2016).

	Nombre del proyecto	Producto	Ubicación	Tipo de Crowdfunding	Recaudado (USD)	Numero de crowdfunders	Beneficio a los crowdfunders
1	Pay-As-You-Go Solar Energy	Sistemas solares residenciales para pequeños negocios y familias	Tanzania	Préstamo (corto plazo)	\$15.000	91	Dinero
2	SunnyMoney	Iluminación con energía solar para estudiantes y familias	Zambia	Préstamo (corto plazo)	\$20.000	146	Dinero
3	Brighter Schools	Sistemas solares fotovoltaicos para escuelas	Reino Unido	Préstamo (largo plazo)	\$327.600	158	Dinero
4	Resilient Energy Great Dinkilns	Turbina eólica	Reino Unido	Préstamo (largo plazo)	\$2.123.400	425	Dinero
5	Caballero Frabrick	Paneles solares en el techo de una fábrica	Países Bajos	Capital	\$592.800	186	Electricidad / Dinero
6	Wind Eeklo	Tres turbinas eólicas	Bélgica	Capital	\$4.848.700	1825	Electricidad / Dinero

Generalmente en los modelos de préstamo, como los primeros 4 de la **Tabla 6-3**, el interés de los crowdfunder es netamente recibir de vuelta su dinero con un interés pactado; por otro lado los casos 5 y 6, de capital, son un poco más complejos, debido a que los crowdfunders tiene un interés de ser parte de la compañía, teniendo la posibilidad de voz y voto en las decisiones del proyecto y en algunos casos siendo al mismo tiempo clientes, pudiendo recibir como contraprestación energía eléctrica, dinero o ambos.

Oneplanetcrowd en Países Bajos, BetterVest / GreenCrowding en Alemania, Lumo en Francia, Abundance en Reino Unido y CONDA en Austria son algunas de las plataformas Crowdfunding líderes en la Unión Europea para la financiación de proyectos de energías renovables (Harder & van Maaren, 2016).

Finalmente, se puede concluir que, aunque el Crowdfunding no sustituye los métodos tradicionales de financiación, es de gran utilidad para comenzar un negocio, obteniendo capital para las primeras etapas del desarrollo de energías renovables combinándose con fondos públicos, préstamos bancarios, entre otros.

En este capítulo fueron caracterizados los esquemas de inversión mediante los modelos de negocio: suministro, leasing, PPAs, Roof-rental y comunidades solares, y los mecanismos de financiación: Self-financing, Feed-in tariff, incentivos fiscales, Renewable Portfolio Standards, Third-party ownership, Utility & Public financing y Crowdfunding. En el capítulo 7 se presentarán las principales conclusiones del trabajo final y se dará reporte del cumplimiento de objetivos de investigación propuestos.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

La evolución industrial que han logrado los países desarrollados se ha caracterizado por el uso intensivo de recursos energéticos con altos niveles de contaminación, lo que ha conllevado a la implementación de políticas para mitigar y reducir la emisión de gases efecto invernadero, evitando los problemas asociados al cambio climático.

Las fuentes de energía renovables, como la energía solar y eólica, han sido el punto de partida para la adopción de políticas energéticas amigables con el medio ambiente, con casos como el National Renewable Energy Action Plan (NREAP) en la Unión Europea, en el cual los países trazan objetivos para incorporar energías limpias a sus portafolios energéticos.

Dichas políticas han motivado la creación de nuevos modelos de negocio y formas de participar en los mercados energéticos, permitiendo dinamizar el sector y activar actores que históricamente habían tomado una actitud pasiva dentro de la cadena productiva, como los consumidores finales, quienes han comenzado a tener participación tanto en la producción como en la gestión eficiente de la energía.

Al revisar la literatura, fueron identificados y detallados modelos de negocio para la generación distribuida y autogeneración de energía eléctrica, basados en energía solar fotovoltaica, la cual ha experimentado una significativa disminución de costos presentando oportunidades para los usuarios en la instalación de sistemas.

Esta investigación también permitió reconocer las barreras y oportunidades para masificar la implementación de sistemas solares fotovoltaicos a pequeña escala en países en vías del desarrollo, como Colombia. Una de las barreras identificadas, y quizá la más

importante, es la falta de mecanismos de financiación para un cliente residencial. Algunos de los más importantes mecanismos de financiación son: la autofinanciación, Third-party ownership y crowdfunding.

Adicionalmente, se identificaron los incentivos que podrían ser implementados por los gobiernos, tomando como base el conocimiento adquirido y la experiencia de países líderes en el mundo, como Alemania, Estados Unidos y Australia. De aquí, fueron identificados algunos como: incentivos fiscales, medición neta, Feed-in tariffs y mecanismos de depreciación acelerada.

En el caso de Colombia, a pesar de contar con un portafolio de generación de energía limpio, pues aproximadamente el 80% proviene de la hidroelectricidad, no ha avanzado en la implementación de energías renovables no convencionales, lo que ha generado gran dependencia hidrológica, haciendo que, en épocas de escases de este recurso, se respalde el sistema con combustibles fósiles, los cuales propician el aumento en los precios al usuario final y estrés del sistema.

El país tiene enormes potenciales de recursos renovables, como la radiación solar y el viento, lo que crea una oportunidad para su aprovechamiento. En el año 2014, fue publicada la Ley 1715, que pretende fomentar la expansión de las fuentes de energía renovables no convencionales, pero aún se encuentra en proceso de regulación.

La implementación de sistemas de autogeneración de energía solar fotovoltaica posee ventajas tanto para los usuarios como para el sistema, entre otras, se pueden listar: (1) estabilidad de precios de la electricidad para el usuario final, haciéndolo menos vulnerable a fenómenos climáticos; (2) grandes avances tecnológicos en los paneles y equipos, así como su masificación, que han permitido aumento en eficiencia y disminución de costos; (3) bajo impacto ambiental, comparado con las tecnologías tradicionales, como la térmica e hidráulica; (4) bajos costos de operación y mantenimiento; (5) reducción de pérdidas de transporte y (6) costos evitados por expansiones al sistema interconectado.

Por otro lado, para la entrada de este tipo de sistemas se identificaron algunas barreras que deben ser correctamente direccionadas para su implementación en Colombia, entre ellas se encuentran: (1) incentivos errados, focalizados en fuentes convencionales; (2)

dificultades de financiación; (3) no valoración a externalidades de las FNCER, como reducción de emisiones de gases efecto invernadero, creación de valor económico, costos de integración, fenómenos naturales y salud; (4) falta de conocimiento y personal calificado; (5) falsa tranquilidad ofrecida por las tecnologías convencionales y escepticismo por las renovables, y (6) falta de regulación en mecanismos como la venta de excedentes, política energética a pequeña escala y redes inteligentes.

El potencial de Colombia en energía solar fotovoltaica residencial es enorme gracias a la radiación promedio, que supera a países que son líderes en el sector como Alemania y Estados Unidos, además, teniendo en cuenta que según el DANE (2005), aproximadamente el 70% de los colombianos residen en casas, el aprovechamiento de los espacios en los techos podría ser una oportunidad de negocio tanto para nuevos emprendedores como para que los mismos consumidores reduzcan sus costos energéticos.

La ley 1715 de 2014, es una legislación prometedora, puesto que los incentivos que se proponen son los que mayor desarrollo han generado en los países líderes, entrega de excedentes, medición bidireccional, remuneración por beneficios entregados a las redes, mercado de créditos de energía, programas de divulgación, incentivos financieros y mecanismo de depreciación acelerada; sin embargo, es necesario agilizar la regulación de la misma por parte de las entidades responsables con el objetivo de comenzar su aplicación, aún resta definir: (1) los lineamientos para la entrega de excedentes a pequeña escala; (2) los lineamientos de conexión y operación de la autogeneración distribuida; (3) los lineamientos para el funcionamiento del fondo de energías no convencionales; (4) entrega de excedentes; (5) medición bidireccional; (6) remuneraciones por beneficios y (7) mercado de créditos de energía.

Desde el punto de vista del consumidor final, los sistemas de autogeneración solar fotovoltaica representan una alternativa viable e interesante para comenzar a ser actores activos del sistema energético colombiano, mediante su auto abastecimiento de electricidad y gestión eficiente de energía. Además, este tipo de sistemas se presta para regular consumos, realizar mediciones de consumo en tiempo real (como los ofrecidos por las compañías estadounidenses), reducir su carga y obtener beneficios de aumento de valor económico de sus viviendas y ventas de excedentes.

Finalmente, los nuevos emprendedores tienen con el desarrollo de los modelos de negocio, mecanismos de financiación y normatividad existente, muchas oportunidades de negocio, ofreciendo a sus clientes desde la venta de sistemas, hasta contratos de PPAs.

7.2 Reporte del cumplimiento de los objetivos específicos

A continuación de reportará el cumplimiento de los dos objetivos específicos trazados para el desarrollo del presente trabajo.

7.2.1 Objetivo 1

Caracterizar esquemas de inversión para la autogeneración fotovoltaica de energía eléctrica a nivel residencial.

La caracterización de los esquemas de inversión fue realizada en los capítulos 5 y 6; en el quinto capítulo, fueron revisados los casos exitosos de Alemania, Estados Unidos, Japón, Italia, Tailandia y Australia. Con base en estos casos exitosos, se presentó en el sexto capítulo, la definición de esquemas de inversión mediante la composición de Modelos de negocio: (1) suministro de equipos, (2) Leasing solar, (3) Power Purchase Agreement, (4) Rent-the-space y (5) comunidades solares; y Mecanismos de financiación: (1) Self-financing, (2) Feed-in tariff, (3) Incentivos fiscales, (4) Renewable Portfolio Standards, (5) Third-party Financing, (6) Utility & Public Financing y (7) Crowdfunding.

7.2.2 Objetivo 2

Proponer alternativas para la regulación de la autogeneración de energía eléctrica en Colombia, tomando como base la regulación existente, experiencia y mejores prácticas de países clave en su implementación.

Durante el desarrollo del trabajo, fueron descritos los principales contenidos de la regulación colombiana, específicamente la Ley 1715 de 2014, de igual manera durante la descripción de la experiencia de cada uno de los países se definieron mejores prácticas y alternativas que podrían permitir la regulación restante en el mercado colombiano; la Ley anteriormente mencionada parece estar muy bien estructurada y haber tenido en cuenta

las aplicaciones implementadas a nivel mundial, sin embargo, a continuación, se resumen las principales recomendaciones y observaciones:

- El incentivo de deducción sobre el impuesto de renta para las personas o empresas que inviertan en FNCE, equivalente al derecho de deducir hasta un 50% de las inversiones en un plazo máximo de 5 años, y regulado mediante el Decreto 2143 de 2015 del Ministerio de Minas y Energía, es superior al implementado en países como Estados Unidos, en el cual se reguló un máximo del 30% hasta el año 2019. Este incentivo no aplica para Leasing operativo, pero si financiero cuando se pacte una opción de compra irrevocable, lo que podría ser beneficioso para un consumidor final.
- El mecanismo de depreciación acelerada, también está muy bien regulado, facilitando la aplicación de una tasa anual de hasta 20%, similar al MACRS de Estados Unidos y sin limitaciones por el incentivo de deducción de impuestos como sucede en dicho país. El gran inconveniente, es que está concebido para generadores de energía, es decir para aquellos agentes registrados en el mercado, lo que dificulta su aplicación en personas naturales o compañías energéticas, que deberán estar representados por un agente para poderlo obtener.
- Los incentivos tributarios de reducción de impuestos, que fueron presentados en este trabajo como mecanismo de financiación, han sido correctamente aplicados por la regulación en Colombia, pues adicional a la depreciación acelerada y reducción del impuesto de renta, el Decreto 2143 de 2015, también establece la exención de IVA y gravámenes arancelarios para los equipos y servicios requeridos en las etapas de pre inversión e inversión de proyectos de FNCE, previa obtención de las certificaciones de la UPME, la ANLA y remisión a la VUCE, de acuerdo con lo establecido en las Resoluciones 045 de 2016 de la UPME y 1283 de 2016 de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Los lineamientos de política energética en materia de entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala al SIN, aún se encuentra en proyecto de Decreto; para su documento final, no se recomienda incluir herramientas como el FiT, debido a que, según experiencias de otros países, podría convertirse en una barrera para el autoconsumo, pues los usuarios estarían más interesados en entregar la electricidad a las redes para recibir la contraprestación económica, que en usarla para satisfacer sus propias necesidades; además de que podría ser intensivo en el uso de recursos para

soportar su funcionamiento y en muchos casos es una medida temporal. En lugar de ello, la medición bidireccional, es una excelente herramienta para que los usuarios puedan sacar provechos de los sistemas fotovoltaicos respaldados en horas de poca producción con la electricidad de las redes de distribución. Un punto a definir es el precio de compra de la electricidad por parte del sistema.

- Los lineamientos de política energética en materia del funcionamiento del Fondo de Energías no Convencionales, se encuentran en proyecto de Decreto y aún no se tiene fecha de implementación, sería de gran utilidad implementar mecanismos de financiación como el presentado en el Capítulo 6, referente a Public & Utility Financing, en los cuales se pueda entregar créditos a tasas de interés reducidas a sectores como el residencial para fomentar la autogeneración de energía eléctrica.
- La venta de créditos de energía de la que trata la Ley, podría verse apoyada por modelos como el Virtual Net Metering, en los cuales se permita la medición neta de varios consumidores por la energía entregada al SIN por un sistema distribuido.
- En la regulación, debe dejarse claramente establecida la legalidad de modelos de negocio como los PPAs solares, Leasing, comunidades solares, entre otros, con el objetivo de permitir la incursión de nuevas compañías en el sector.

7.3 Recomendaciones

Este trabajo estuvo acotado a la búsqueda de mejores prácticas en implementación de energías renovables y sistemas de autogeneración de energía con dichas fuentes para su posterior caracterización y recomendaciones de acuerdo a lo encontrado, sin embargo, si se toma el punto de vista de emprendedores en búsqueda de oportunidades de negocio en la industria solar, aún resta camino por recorrer, a continuación, se lista una sugerencia de trabajo futuro para la estructuración de planes de negocio:

- Investigaciones de mercado para identificar los insumos de mayor eficiencia para sistemas fotovoltaicos, tales como paneles, baterías, entre otros.
- Formulación de estudios de pre-inversión de proyectos de autogeneración solar fotovoltaica a nivel residencial, incluyendo pre-factibilidad, factibilidad financiera y diseño.
- Integrar mecanismos y herramientas tecnológicas (Smart Grid).

Referencias

- Abella, A., Alvarez, E., Argüeso, J., Bozon, A., Castro, U., Lopez, D., & Marten, I. (2015). Smart Energy : New Applications and Business Models The Boston Consulting Group in collaboration with the Energy Chair of Orkestra, (April).
- Abolhosseini, S., & Heshmati, A. (2014). The main support mechanisms to finance renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 876–885. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.013>
- ANEEL. (2012). Resolução no 482 de 2012 da ANEEL. Aneel, 53(9), 1689–1699. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Australian Energy Council. (2016). Renewable Energy in Australia, 1–7.
- Beck, F., & Martinot, E. (2004). Renewable Energy Policies and Barriers. *Encyclopedia of Energy*. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.032>
- Berry, T., & Jaccard, M. (2001). The renewable portfolio standard: Design considerations and an implementation survey. *Energy Policy*, 29(4), 263–277. [http://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00126-9](http://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00126-9)
- Cano, E., Chejne, F., Díaz, J., Dyner, I., González, L., Lopera, S., ... Younes, C. (2013). Agendas de Conocimiento - Energía. Retrieved from http://www.viceinvestigacion.unal.edu.co/VRI/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=34&Itemid=117
- Castañeda, M. (2013). Implicaciones en la Seguridad de suministro de los incentivos a las energías renovables en Gran Bretaña, 79.

- Chapman, A. J., McLellan, B., & Tezuka, T. (2016). Residential solar PV policy: An analysis of impacts, successes and failures in the Australian case. *Renewable Energy*, 86, 1265–1279. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.061>
- Clean Energy Regulator. (2016). Small-scale technology certificates. Retrieved from <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/RET/Scheme-participants-and-industry/Agents-and-installers/Small-scale-technology-certificates>
- Congreso de Colombia. (2014). Ley N° 1715 Del 13 de mayo de 2014, (May), 26. Retrieved from http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf
- Coughlin, J., Grove, J., Irvine, L., Janet, F., Phillips, S. J., & Moynihan, L. (2010). A Guide to Community Solar: Utility, Private, and Non-profit Project Development (Book), Energy Efficiency & Renewable Energy (EERE).
- COWI (2014). Impact Analysis for integration of Wind Power Generation in Colombia.
- DANE. (2010). *Boletín. Censo General 2005. Perfil Colombia*. Bogotá. Retrieved from http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/00000T7T000.PDF
- Del Río, P. (2010). Analysing the interactions between renewable energy promotion and energy efficiency support schemes: The impact of different instruments and design elements. *Energy policy*, 4978-4989.
- European Commission. (2012). Consultation Paper on generation adequacy, capacity mechanisms and the internal market in electricity.
- FENERCOM. (2006). Guía de la Energía Solar, 66. Retrieved from <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-la-energia-solar-fenercom.pdf>
- Frantzis, L., Graham, S., Katofsky, R., Sawyer, H., Frantzis, L., Graham, S., ... Sawyer, H. (2008). Photovoltaics Business Models, (February).

- Harder, K., & van Maaren, R. (2016). Report on the practical experience of RES project financing using crowdfunding.
- Hart-re, C., Morales, F., & Torres, M. (2014). Capacidad Instalada De Autogeneración Y Cogeneración En Sector De Industria, Petróleo, Comercio Y Público Del País Informe Final Presentado A: Unidad De Planeación Minero Energética-UPME, 278.
- IRENA. (2015). Renewable energy capacity statistics, (September).
- JABŁOŃSKA, M. R. (2014). MICROGRIDS TECHNOLOGY REVIEW FOR THE CREATION OF URBAN PROSUMERS SOCIETIES. *Studia I Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedza / Studies & Proceedings Polish Association For Knowledge Management*, (72), 16-27.
- Jenkins, N., Ekanayake, J., & Strbac, G. (2010). Distributed Generation (Renewable,).
- Karakaya, E., Nuur, C., & Hidalgo, A. (2016). Business model challenge: Lessons from a local solar company. *Renewable Energy*, 85, 1026–1035. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.069>
- Kumar Sahu, B. (2015). A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.058>
- Lam, P. T. I., & Law, A. O. K. (2016). Crowdfunding for renewable and sustainable energy projects: An exploratory case study approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 11–20. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.046>

- Masson, G., & Brunisholz, M. (2016). 2015 Snapshot of global photovoltaic markets. Iea Pvps T1-29:2016, 1–19. Retrieved from http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/PICS/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2015_-_Final_2_02.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2015). Decreto N° 2143, 8. Retrieved from <http://wp.presidencia.gov.co/sitios/normativa/decretos/2015/Decretos2015/DECRET O 2143 DEL 04 DE NOVIEMBRE DE 2015.pdf>
- OPTRES. (2007). OPTRES. Comisión Europea. Assessment and optimization of renewable energy support schemes in the European electricity market.
- Overholm, H. (2015). Spreading the rooftop revolution: What policies enable solar-as-a-service? *Energy Policy*, 84, 69–79. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.021>
- Raineri, R., Dyner, I., Go??i, J., Castro, N., Olaya, Y., & Franco, C. (2013). Latin America Energy Integration: An Outstanding Dilemma. *Evolution of Global Electricity Markets: New Paradigms, New Challenges, New Approaches*, 393–432. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-397891-2.00014-6>
- RGS Energy. (2016). Sitio corporativo. Retrieved from <http://rgsenergy.com/>
- Richter, M. (2013). Business model innovation for sustainable energy: German utilities and renewable energy. *Energy Policy*, 62, 1226–1237. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.038>
- Schallenberg, J., & Haas, R. (2012). Fixed feed-in tariff versus premium: A review of the current Spanish system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 293– 305.
- Tongsopit, S., Mounghareon, S., Aksornkij, A., & Potisat, T. (2016). Business models and financing options for a rapid scale-up of rooftop solar power systems in Thailand. *Energy Policy*, 95, 447–457. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.01.023>

REN21. (2014). Renewables 2014 Global Status Report.

REN21. (2015). Renewables 2015 Global Status Report.

REN21 (2016). Renewables 2016 Global Status Report.

SEIA. (2016). Solar Investment Tax Credit (ITC). Retrieved from <http://www.seia.org/policy/finance-tax/solar-investment-tax-credit>

SEIA. (2016). Depreciation of Solar Energy Property in MACRS. Retrieved from <http://www.seia.org/policy/finance-tax/depreciation-solar-energy-property-macrs>

SEIA. (2016). Net Metering. Retrieved from <http://www.seia.org/policy/distributed-solar/net-metering>

SolarCity. (2016). Sitio corporativo. Retrieved from <http://www.solarcity.com/>

Sungevity. (2016). Sitio corporativo. Retrieved from <http://www.sungevity.com/>

SunPower. (2016). Sitio corporativo. Retrieved from <http://us.sunpower.com/>

SunRun. (2016). Sitio corporativo. Retrieved from <https://www.sunrun.com/>

Upme. (2013). Plan De Expansion De Referencia Generacion - Transmisión, 1–475.

UPME, & BID. (2015). Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia. Retrieved from http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_ENERGIAS_RENOVANLES_WEB.pdf

- UPME & IDEAM. (2005). Atlas de Radiación solar de Colombia. Santafé de Bogotá DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas Y Energía DC: Unidad de Planeación Minero Energética, Ministerio de Minas Y Energía, 144–145, Apéndice C.
- US Department of Energy. (2016). Property-Assessed Clean Energy Programs. Retrieved from <http://energy.gov/eere/slsc/property-assessed-clean-energy-programs>
- Vergara Walter, Alejandro Deeb, Natsuko Toba, Peter Cramton, Irene Leino (2010). Wind Energy in Colombia: A Framework for Market Entry. Washington, DC: World Bank. Disponible en: <http://www.cramton.umd.edu/papers2010-2014/vergara-deep-toba-cramton-leino-wind-energy-in-colombia.pdf>
- XM. (2016). Información inteligente. Retrieved from <http://informacioninteligente10.xm.com.co/Pages/default.aspx>
- XM. (2016). Informe de Operación del SIN y Administración del mercado: Capacidad Efectiva neta. Informe de Operación Del SIN Y Administración Del Mercado.
- ZERO. Energyon (2014). Normativa de Medición neta (net-metering, balance neto) en México. Retrieved from: <http://generaenergiasolarzeroenergyon.blogspot.com/2014/09/normativa-de-medicion-neta-net-metering.html>